

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**CAIO LOUZADA MARTINS**

**ANÁLISE DA IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DO CAFÉ CONILON NO SUL  
DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

ALEGRE  
2013

CAIO LOUZADA MARTINS

**ANÁLISE DA IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DO CAFÉ CONILON NO SUL  
DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Planejamento e Manejo dos Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis

Coorientador: Prof. Giovanni de Oliveira Garcia

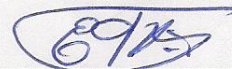
ALEGRE  
2013

# ANÁLISE DA IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DO CAFÉ CONILON NO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Planejamento e Manejo dos Recursos Hídricos.

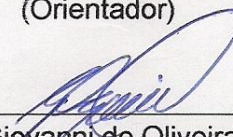
Aprovada em 26 de fevereiro de 2013.

## COMISSÃO EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis  
Centro de Ciências Agrárias - UFES  
(Orientador)



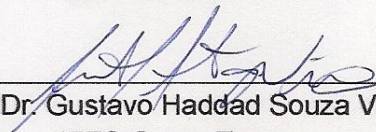
---

Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia  
Centro de Ciências Agrárias - UFES  
(Coorientador)



---

Prof. Dr. Robson Bonomo  
CEUNES/UFES



---

Prof. Dr. Gustavo Haddad Souza Vieira  
IFES-Santa Teresa

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

M386a Martins, Caio Louzada, 1965-  
Análise da irrigação no cultivo do café conilon no sul do estado do Espírito Santo / Caio Louzada Martins. – 2013.  
95 f. : il.

Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis.

Coorientador: Giovanni de Oliveira Garcia.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Café - Cultivo. 2. Irrigação – Espírito Santo (Estado). I. Reis, Edvaldo Fialho dos. II. Garcia, Giovanni de Oliveira. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 63

---

## DEDICO

A Deus.

À minha esposa Maria José.

Ao meu filho Saulo.

Aos meus pais Felinto (*in memoriam*) e Lucília.

Aos meus irmãos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado sabedoria, saúde e motivação para vencer os desafios enfrentados durante a realização do curso.

À minha esposa Maria José e ao meu filho Saulo, pelo apoio, carinho e valiosa colaboração em todos os momentos.

Aos meus familiares e aos da minha esposa, pelo carinho, incentivo e apoio.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao professor orientador Dr. Edvaldo Fialho dos Reis, pela paciência, amizade, confiança, atenção, ensinamentos e conselhos, que contribuíram tanto para minha pesquisa como para meu crescimento profissional e pessoal.

Ao professor Dr. Giovanni de Oliveira Garcia, pela coorientação, incentivo e disposição em me ajudar na realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Robson Bonomo e Dr. Gustavo Haddad Souza Vieira, pelo apoio e contribuições.

Aos demais professores do mestrado em Produção Vegetal da UFES que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação acadêmica.

Aos colegas de pós-graduação pela amizade e incentivo, em especial: Aldemar, Camila, Camilo, Eduardo, José Maria, Rodolfo, Samuel e Wagner, que me auxiliaram durante o curso.

Ao INCAPER, pela oportunidade de participar deste plano de incentivo à formação de pós-graduação.

Ao Sr. Gilson Tófano, chefe regional do Incaper-ES, pela confiança, apoio e incentivo para que pudesse fazer esta pós-graduação.

Ao Sr. Evair Vieira de Melo, presidente do Incaper-ES, por acreditar e contribuir desde a apresentação da proposta para que fizesse esta pós-graduação.

Ao Sr. Izaias dos Santos Bregonci, Conselheiro Institucional, pelo apoio.

Aos pesquisadores Luiz Carlos Prezotti e Maurício José Fornazier, pelas orientações e sugestões.

Aos proprietários e funcionários das propriedades rurais, por terem disponibilizado suas áreas, tempo e sistemas de irrigação para com a realização deste trabalho.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para que este trabalho pudesse ser realizado, meu grande agradecimento.

## BIOGRAFIA

Caio Louzada Martins, filho de Felinto Elycio Martins e Lucilia Louzada Martins, nasceu em 22 de junho de 1965, no município de Castelo, Estado do Espírito Santo.

Formou-se Técnico em Agropecuária, em 1981, pela Escola Agrotécnica Federal de Alegre.

Em 1983, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo, no Centro de Ciências Agrárias (CCA-UFES), em Alegre-ES, concluindo-o em dezembro de 1986.

Iniciou sua vida profissional na Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Castelo-ES, de 1992 a 1997.

Extensionista Agropecuário da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais (EMATER-MG), durante os anos de 1997 a 2005.

Agente de Desenvolvimento Rural do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), desde 2005.

Em março de 2011, iniciou o curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, na área de concentração Planejamento e Manejo dos Recursos Hídricos, no CCA-UFES, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2013.



## RESUMO GERAL

MARTINS, Caio Louzada, M. Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, Fevereiro de 2013. **Análise da irrigação no cultivo do café conilon no sul do Estado do Espírito Santo.** Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis. Coorientador: Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia.

No sul do Estado do Espírito Santo, a irrigação vem se consolidando como importante alternativa de modernização e crescimento da cafeicultura. Na região são utilizados os sistemas de irrigação: gotejamento, microaspersão, aspersão convencional móvel e fixa. Porém, muitos sistemas de irrigação são instalados sem projetos elaborados por profissionais capacitados, utilizando equipamentos com deficiências de instalação e o manejo da irrigação sem critério técnico, faltando informações detalhadas da situação dos sistemas de irrigação instalados. Diante do exposto, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar tecnicamente os sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura de montanha da região. O trabalho foi dividido em duas etapas: na primeira, avaliou-se o desempenho dos sistemas de irrigação por aspersão convencional em áreas acidentadas; e na segunda etapa, avaliou-se o desempenho de sistemas de irrigação localizada. Estas avaliações foram realizadas por meio do levantamento dos principais parâmetros de eficiência relacionados à condução, distribuição, aplicação e manejo da irrigação em cada projeto avaliado. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que os sistemas avaliados apresentam indicadores de uniformidade inferiores aos recomendáveis. A variação da pressão de operação e vazão nos sistemas de aspersão fixa é acima do limite aceitável. A avaliação do manejo dos sistemas demonstra descontrole em relação ao uso da água.

Palavras-chave: Coeficiente de Uniformidade. Aspersão Convencional. Irrigação Localizada. Manejo de Irrigação.

# **ANALYSIS OF IRRIGATION IN THE CULTIVATION OF CONILON COFFEE IN THE SOUTHERN STATE OF ESPÍRITO SANTO**

## **GENERAL ABSTRACT**

MARTINS, Caio Louzada, M. Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, March of 2013. **Analysis of irrigation in the cultivation of conilon coffee in the southern state of Espírito Santo.** Advisor: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis. Co-advisor: Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia.

In the southern state of Espírito Santo, irrigation has been consolidated as an important alternative to modernization and growth of coffee. In the region are used irrigation systems: drip irrigation, sprayer, conventional sprinkling irrigation mobile and fixed. However, many irrigation systems are installed without projects designed by trained professionals, disabled equipment installation and irrigation management without technical criteria, lacking detailed information on the situation of irrigation systems installed. Given the above, the aim of this work was technically evaluate irrigation systems used in coffee mountain region. The work was divided into two phases: first, it evaluated the performance of irrigation by sprinkler irrigation conventional in hilly areas, and second step, it evaluated the performance of localized irrigation systems. These evaluations were conducted through survey of the main efficiency parameters related to the conducting, switching, application and management of the irrigation in each project assessed. Based on these results, it was concluded that the systems evaluated show indicators of uniformity lower than recommended. Variations in operating pressure and flow in fixed sprinkler systems is above the acceptable limit. The evaluation of management systems demonstrates unmanageability in relation to water use.

Key words: Coefficient of Uniformity. Conventional Sprinkling Irrigation. Localized Irrigation. Management of Irrigation.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	vi
GENERAL ABSTRACT .....	vii
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 CAPÍTULO 1- DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA EM CAFEICULTURA DE MONTANHA .....	3
RESUMO .....	3
ABSTRACT .....	4
2.1 INTRODUÇÃO .....	5
2.2 REVISÃO DE LITERATURA .....	7
2.2.1 A irrigação no sul do Estado do Espírito Santo .....	7
2.2.2 Eficiência do sistema de irrigação por aspersão convencional .....	10
2.2.3 Uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão fixa .....	12
2.2.4 Uniformidade de aplicação de água versus produtividade .....	14
2.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	16
2.3.1 Localização e caracterização dos projetos avaliados .....	16
2.3.2 Esquemas dos projetos de irrigação por aspersão fixa avaliados .....	17
2.3.3 Uniformidade de aplicação de água .....	18
2.3.4 Avaliação do desempenho da irrigação por aspersão fixa .....	24
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
2.4.1 Pressão de funcionamento e vazão dos aspersores .....	30
2.4.2 Uniformidade de aplicação de água .....	32
2.4.3 Avaliação do manejo da irrigação por aspersão fixa .....	35
2.5 CONCLUSÕES .....	50
2.6 RECOMENDAÇÕES .....	51
2.7 REFERÊNCIAS .....	52
3 CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA EM CAFEICULTURA DE MONTANHA .....	57
RESUMO .....	57
ABSTRACT .....	58

3.1 INTRODUÇÃO .....	59
3.2 REVISÃO DE LITERATURA .....	62
3.2.1. Avaliação de sistemas de irrigação localizada .....	62
3.2.2. Uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação localizada .....	63
3.2.3. Fatores que afetam a uniformidade de irrigação em sistemas de irrigação localizada .....	63
3.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	64
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	71
3.5 CONCLUSÕES .....	81
3.6 REFERÊNCIAS .....	82

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A cafeicultura é a principal atividade agrícola do Estado do Espírito Santo e o cafeeiro conilon está presente em 65 dos 78 municípios do estado, em uma área aproximada de 290 mil ha, sendo que na região Sul é cultivado principalmente na bacia do rio Itapemirim, com destaque aos municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Castelo (FASSIO & SILVA, 2007).

Um dos fatores de destaque é o da utilização de tecnologia de irrigação. Apesar da contribuição para a sustentabilidade econômica e social do Estado do Espírito Santo, poucos são os estudos relacionados à irrigação do cafeeiro conilon.

Considerando a água como um fator importante de produção, a maioria das lavouras irrigadas da região não tem alcançado os níveis desejados de produtividade, devido principalmente, às dificuldades operacionais encontradas no campo, não levadas em consideração durante o planejamento.

A desuniformidade de distribuição de água dos sistemas pode promover excesso de aplicação de água em parte da área irrigada além de outros problemas ambientais, como a lixiviação de fertilizantes e a contaminação das águas subterrâneas, devido à percolação profunda (OLIVEIRA et al., 2009; PAULINO et al., 2009).

A preocupação com o uso eficiente da água na irrigação cresce proporcionalmente com o aumento da escassez de água de boa qualidade, agravando a competição entre os diversos setores que dela dependem. Em termos globais, 70% dos recursos hídricos disponíveis são derivados para irrigação, em detrimento dos demais setores, sofrendo pressão para que reduza o consumo de água.

Torna-se, portanto, imprescindível a adoção de medidas que possibilitem o uso adequado dos recursos hídricos disponíveis para irrigação através da melhoria da eficiência do uso da água. A avaliação do desempenho de um sistema de irrigação é fundamental para a estratégia de manejo da irrigação, pois com base nesses resultados tem-se o conhecimento da qualidade com que a irrigação está sendo realizada, a partir de uma gama de coeficientes de uniformidade de aplicação de água, os quais expressam a variabilidade de distribuição aplicada pelo sistema de irrigação.

Vários coeficientes expressam a uniformidade de aplicação da irrigação. Segundo Bernardo et al. (2006), o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942), o Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us), proposto Wilcox & Swailes (1947) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), proposto por Criddle et al. (1956) são os três coeficientes mais utilizados para determinação da uniformidade de aplicação e distribuição de água de um sistema.

Apesar da disponibilidade de vários métodos para a realização do manejo adequado da irrigação, ainda é pequena a adoção dos mesmos por agricultores, sendo a irrigação muitas vezes realizada com base na experiência prática do produtor, sem adoção de qualquer estratégia de uso e manejo racional de água (COSTA, 2006).

Antes de programar qualquer estratégia de manejo, é fundamental a avaliação de desempenho do sistema de irrigação. A partir dos resultados obtidos, é possível adequar os equipamentos à necessidade de água da cultura, bem como a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação.

Considerando-se o exposto, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar o desempenho da irrigação por aspersão convencional e localizada em áreas de cafeicultura de montanha no Sul do Espírito Santo.

## 2 CAPÍTULO 1

### DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA EM CAFEICULTURA DE MONTANHA

#### RESUMO

Nos sistemas de aspersão são utilizadas diferentes formas de distribuição das tubulações na área: em malha, com troca de aspersores ou fixa. Uma variação da aspersão fixa também utilizada na região é a distribuição das linhas laterais em declive, procurando compensar a perda de carga na tubulação com o desnível do terreno, visando maior uniformidade. Objetivou-se, com a realização deste trabalho, diagnosticar e avaliar a uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão fixa em áreas acidentadas, utilizados em lavouras de cafeeiro conilon no sul capixaba. Foram escolhidos aleatoriamente nove projetos de irrigação, sendo seis com distribuição das linhas laterais instaladas em declive e três em nível. Em cada projeto, realizou-se o teste de aplicação de água para a determinação dos coeficientes de uniformidade e da eficiência de aplicação de água. Nos sistemas de aspersão avaliados, 83,3 % dos projetos com laterais em declive e 100,0 % dos projetos com laterais em nível apresentam baixa uniformidade de aplicação de água. A variação da pressão e vazão dos aspersores é adequada em 33,3 % dos projetos com laterais em declive e inadequada para todos os projetos em nível. Concluiu-se que os sistemas avaliados apresentam médias dos indicadores de uniformidade inferiores aos recomendáveis. A variação da pressão de operação e vazão dos aspersores é acima do limite aceitável. A avaliação do manejo da irrigação indica descontrole em relação ao uso da água.

Palavras-chave: Coeficiente de uniformidade. Aspersão fixa. Manejo da irrigação.

## **2 CHAPTER 1**

# **PERFORMANCE OF IRRIGATION SYSTEMS BY SPRINKLING FIXED AT MOUNTAIN COFFEE**

### **ABSTRACT**

In sprinkler systems are used different forms of distribution pipes in the area: mesh with fixed sprinklers or exchange. A variation of fixed sprinkler region is also used in the distribution of the sidelines downhill, trying to compensate for pressure loss in the pipe with the sloping ground, seeking greater uniformity. The objective of this work was diagnose and evaluate the uniformity of water application in irrigation sprinkling fixed in hilly areas, used in conilon coffee plantations in southern capixaba. Nine irrigation projects were randomly selected, six with distribution lines installed sloping sides and three level. In each design, the test was performed water application for determining the coefficients of uniformity and efficiency of water application. In sprinkler systems evaluated, 83.3% of projects with sloping sides and 100.0% of projects have low-level lateral uniformity of water application. The variation of the pressure and flow of the sprinklers is adequate in 33.3% of projects with sloping sides and inadequate for all projects in level. It was concluded that the systems evaluated present indicators means of uniformity lower than recommended. The variation of operating pressure and flow rate of the sprinklers is above the acceptable limit. The evaluation of irrigation management indicates lack in relation to water use.

Key words: Coefficient of Uniformity. Sprinkling Fixed. Irrigation Management.



## 2.1 INTRODUÇÃO

A irrigação no cafeeiro conilon tem sido uma importante estratégia para o aumento da sua produtividade. Por isso, o uso da prática de irrigação tem crescido muito nos últimos anos, levando a um incremento significativo das áreas irrigadas no Estado do Espírito Santo. A área de café irrigado do Estado no ano de 2007 era de 76.000 ha, representando 15,4% da área total (FERNANDES et al., 2008).

Apesar da irrigação na cultura do cafeeiro conilon contribuir para a sustentabilidade econômica e social da região, as pesquisas envolvendo o estudo do manejo da irrigação para as condições edafoclimáticas do sul do Estado são escassas. Na maioria das lavouras em implantação está sendo utilizada alguma forma de irrigação para assegurar o pegamento das mudas e garantir a produção.

A escolha de qual sistema a ser utilizado depende de diversos fatores: topografia, tipo de solo, quantidade e qualidade da água, custo do equipamento e operacionalização do sistema. Embora os sistemas localizados apresentem maiores potenciais de uniformidade e eficiência de aplicação de água, nos últimos anos houve uma tendência na implantação de sistemas novos de aspersão, principalmente por estes serem de fácil utilização e pouco suscetíveis ao entupimento (BONOMO et al., 2008).

Nos sistemas de aspersão são utilizadas duas formas de distribuição das tubulações na área: em malha e setoriais. Uma variação da aspersão também utilizada na região é a distribuição das linhas laterais em declive, procurando compensar a perda de carga na tubulação com o desnível do terreno, visando maior uniformidade e menor custo de implantação, devido à utilização de tubulações de menor diâmetro nas linhas laterais.

Normalmente, faltam informações detalhadas da situação dos sistemas de irrigação instalados e da eficiência de aplicação da água de irrigação, principalmente nas condições do cultivo do cafeeiro conilon em áreas declivosas. O produtor desconhece as deficiências que existem nos sistemas, comprometendo o resultado esperado com o investimento.

A avaliação do desempenho de um sistema de irrigação é uma etapa fundamental para que qualquer estratégia de manejo de irrigação seja implementada, pois é com

base nesses resultados que será possível avaliar e adequar o equipamento e a sua utilização, em relação às necessidades de água das lavouras irrigadas, considerando-se a eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição de água do sistema (COSTA, 2006).

A uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação é um parâmetro de grande importância a ser definido, pois a desuniformidade da lâmina de água aplicada sobre uma área conduz a resultados insatisfatórios, com redução da eficiência de aplicação de água e consequências no rendimento dos cultivos e nos custos de energia (COSTA, 2006).

A uniformidade de distribuição da água em sistemas de irrigação por aspersão é influenciada, principalmente, pelo tipo de perfil de distribuição do aspersor, pela relação entre a pressão e o diâmetro do bocal, pelo espaçamento entre aspersores, pela variação de pressão no sistema e pela velocidade e direção do vento.

A eficiência de um sistema de irrigação, definida como a relação entre a quantidade de água armazenada no sistema radicular e a quantidade total derivada da fonte, é um dos parâmetros mais utilizados para avaliar o seu desempenho. Na realidade, a eficiência de um sistema deve levar em conta todas as perdas possíveis, que no sistema de irrigação são: perda por percolação, escoamento superficial, perda por evaporação e arrastamento pelo vento e perda por vazamento no sistema de condução de água (BERNARDO et al., 2006).

Considerando-se o exposto, o trabalho teve como objetivos:

Avaliar o desempenho dos projetos de irrigação por aspersão fixa com linhas laterais em nível e em declive, comparar a uniformidade de distribuição de água nos projetos e recomendar a adoção de medidas que contribuam para o uso racional da água de irrigação no cafeeiro conilon.

## 2.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.2.1 A irrigação no Sul do Estado do Espírito Santo

A diminuição da quantidade e da qualidade da água a níveis que comprometam até mesmo a sobrevivência humana é um problema cada vez mais próximo, devido ao crescimento populacional, à expansão das fronteiras agrícolas e à degradação do meio ambiente. Uma série de impactos ambientais tem mostrado a ocorrência de problemas relacionados à falta de água, que podem vir a comprometer a sobrevivência dos ecossistemas e do homem no nosso planeta (SELBORNE, 2001).

Esse crescimento populacional tem pressionado engenheiros, técnicos e cientistas a estudar e aplicar tecnologias que possam suprir o aumento da demanda mundial por alimentos, exigindo produtividades cada vez maiores, sendo que a irrigação vem contribuindo de forma decisiva nesse processo. Porém, a água, que é o principal fator na irrigação, vem se tornando fator limitante, face à disputa do direito de usá-la e pela degradação lenta e gradativa de sua qualidade. Por isso, torna-se imprescindível a adoção de medidas que possibilitem o uso adequado dos recursos hídricos disponíveis (BERNARDO et al., 2006).

A reposição de água ao solo por meio da irrigação na quantidade adequada e no momento oportuno é decisiva para o sucesso na produção do cafeeiro. A aplicação de quantidades adequadas de água associadas a um conjunto de técnicas de cultivo melhoram a produtividade e a qualidade do produto final, além de assegurar melhores lucratividades à atividade. Segundo Mantovani (2001), apesar da maior concentração de projetos serem nas regiões onde ocorrem restrições hídricas por um período prolongado, já é grande também a implantação de projetos de irrigação em áreas tradicionais de cafeicultura. O uso da irrigação vem se mostrando viável ao longo dos tempos, principalmente em regiões onde a distribuição das chuvas tem causado déficit moderado a severo no período que coincide do abotoamento floral à granação. Isso ocorre, por exemplo, nas áreas mais quentes do sul do Estado do Espírito Santo, onde normalmente as chuvas se concentram nos meses de outubro a março, com distribuição irregular no decorrer do ano. Assim, torna-se importante buscar alternativas para aumentar a disponibilidade de água para as plantas, na

tentativa da melhoria da eficiência do uso da água e, conseqüentemente, aumentar ou viabilizar a produção cafeeira.

A região Sul do Espírito Santo compreende principalmente uma região acidentada e heterogênea nos aspectos de geologia, solos e regime pluviométrico, resultando em uma enorme diversidade de ambientes (LANI, 1987). É caracterizada por apresentar variação climática, principalmente no sentido leste-oeste, ou seja, de baixa altitude (áreas litorâneas) para altitudes elevadas (áreas serranas), sendo que as áreas de menor altitude apresentam maior deficiência hídrica devida principalmente aos menores índices pluviométricos e também aos maiores índices de evapotranspiração real (SANTOS, 1999). A região é compreendida pelos municípios: Alegre, Apiacá, Atilio Vivácqua, Bom Jesus do Norte, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Divino São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Guaçuí, Ibatiba, Ibitirama, Irupi, Itapemirim, Iúna, Jerônimo Monteiro, Marataízes, Mimoso do Sul, Muqui, Muniz Freire, Presidente Kennedy, São José do Calçado e Vargem Alta (DADALTO & BARBOSA, 1997).

No Sul do Estado do Espírito Santo, vários sistemas de irrigação são empregados em lavouras de cafeeiro conilon, destacando-se os sistemas por aspersão e localizada. Embora os sistemas localizados apresentem maiores potenciais de uniformidade e eficiência de aplicação de água, nos últimos anos tem havido uma tendência na implantação de novos sistemas de aspersão. Estes apresentam vantagens de serem de fácil utilização, pouco suscetíveis ao entupimento e possibilitarem uma área molhada de 100%. Porém, muitos sistemas são instalados sem projetos elaborados por profissionais capacitados, equipamentos com deficiências de instalação e o manejo da irrigação sem critério técnico. Normalmente o produtor desconhece estas deficiências, obtendo baixa rentabilidade ou mesmo negativa, comprometendo o resultado esperado com o investimento.

Silva & Reis (2007) constataram que, em praticamente toda a região produtora do cafeeiro conilon no Espírito Santo, existe alguma limitação de produtividade devido ao déficit hídrico, podendo, nesses casos, ser necessário o emprego da técnica da irrigação. Levantamentos de campo indicam que, no Espírito Santo, a área irrigada de café era de 76 mil ha, representando 15,4% da área total (SANTINATO et al., 2008). Pezzopane et al. (2010) apresentando um zoneamento de risco climático

para a cultura do cafeeiro conilon, identificaram que 58% da área do Espírito Santo, concentrada principalmente na região norte, apresenta alto risco climático nas fases vegetativa do florescimento, granação e crescimento vegetativo, indicando haver ainda grande potencial ao uso da irrigação nas áreas de produção do cafeeiro conilon.

O uso da irrigação tem sofrido sérias críticas ultimamente, principalmente quando relacionadas com os problemas de escassez de água e de energia. Assim, tornam-se necessários esclarecimentos técnicos fundamentados para que ações precipitadas não sejam concretizadas na tentativa de resolver os problemas de falta de água, resultando em dificuldades ainda maiores à utilização dessa técnica pelos agricultores.

Um dos objetivos da irrigação é aplicar uma quantidade de água preestabelecida de maneira uniforme sobre a área irrigada. Segundo Paz et al. (2000), o desenvolvimento da agricultura irrigada exige procedimentos tecnológicos e econômicos para otimizar o uso da água, para a melhoria de eficiência de aplicação e ganhos de produtividade baseados na resposta da cultura à aplicação de água e outros insumos sem, contudo, comprometer a disponibilidade e qualidade do recurso.

Estima-se que, em média, a eficiência de irrigação é de 37% no mundo, devendo-se ressaltar que grande parcela da perda ocorre por percolação (PAZ, 2000). O do volume perdido torna-se degradado em sua qualidade, ao arrastar nutrientes e pesticidas. O uso de sistemas projetados e manejados adequadamente resulta em melhoria na eficiência de irrigação, aumentando significativamente a disponibilidade para outros fins, inclusive irrigação, principalmente em situações de competição pelo uso da água.

Uma das principais causas do baixo desempenho de muitos projetos de irrigação tem sido a falta de manejo adequado da irrigação na maioria das áreas irrigadas, geralmente por desconhecimento ou por falta de assistência técnica, ou por ambos, resultando em aplicação excessiva, com desperdício de água e energia, além da ocorrência de problemas ambientais, deficiência hídrica para as plantas, baixa produtividade e prejuízos econômicos ao produtor. Práticas adequadas de manejo de irrigação contribuem para aumentar a produtividade e qualidade do café, devendo

ser disponibilizado ao agricultor técnicas simples, mas com precisão suficiente para possibilitarem, no campo, a determinação criteriosa do momento e da quantidade de água a ser aplicada (LOPES et al., 2004).

A irrigação para a cultura do cafeeiro conilon no Sul do Espírito Santo é sem dúvida uma técnica de grande importância, consolidando como alternativa na modernização e no aumento de produtividade. Contudo, a irrigação deve ser realizada de maneira racional, para que não haja desperdício de água nem energia. Inúmeras são as práticas para auxiliar o produtor em relação à quantidade e o momento de se realizar a irrigação, na avaliação do desempenho dos sistemas de irrigação, contribuindo para atenuar as perdas durante e após a aplicação de água pelo sistema.

### **2.2.2 Eficiência do sistema de irrigação por aspersão convencional**

A eficiência de um sistema de irrigação, definida como a relação entre a quantidade de água armazenada no sistema radicular e a quantidade total derivada da fonte, é um dos parâmetros mais utilizados para avaliar o seu desempenho.

A eficiência de irrigação é função das perdas de água que ocorrem na condução da água do ponto de captação até o de emissão; das perdas por evaporação e deriva da água a partir da saída do emissor até alcançar a superfície do solo, para os sistemas de aspersão; das perdas por escoamento superficial para fora da área irrigada; e das perdas por percolação abaixo do sistema radicular. Segundo Mantovani et al. (2009), as perdas de água de um sistema de irrigação (no campo) se resume na relação entre a quantidade de água que se aplica (sai do equipamento) e a que é efetivamente aproveitada pela planta para seu consumo.

No caso de aspersão convencional, os cuidados são maiores quando se trata das perdas durante a aplicação, sendo estas mais significativas e mais dependentes das características climáticas e do equipamento em uso; incluem-se nelas as perdas ocorridas pela evaporação da água diretamente do jato de irrigação e pelo arraste da água pelo vento (MANTOVANI et al., 2009).

Bernardo et al. (2005), afirmam que a uniformidade tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação dos

sistemas de irrigação. Baixa uniformidade sempre significa que há sobra de água em certos pontos no campo e falta em outros.

A uniformidade de distribuição de água é um dos poucos parâmetros de avaliação da irrigação, que muitos especialistas na área consideram importantes para a averiguação do desempenho dos sistemas. O termo uniformidade é aplicado aos parâmetros de desempenho associados à variabilidade da lâmina de água ao longo da superfície do terreno irrigado (REZENDE et al., 2002).

Nas situações em que a água é abundante e seu preço muito baixo, os problemas de um manejo inadequado não são destacados, talvez porque os problemas causados são de caráter indireto ou de longo prazo. No entanto, quando a água é limitada, caso de muitas regiões brasileiras, um manejo eficiente tem implicações muito importantes, tanto pela necessidade de atender às demandas agrícolas como pela competitividade com outras demandas (MANTOVANI et al., 2009).

Em geral, a baixa eficiência nos projetos de irrigação por aspersão está relacionada com a desuniformidade de aplicação de água e com a perda de água por evaporação e por arrastamento pelo vento. As perdas de água na aplicação de uma lâmina de irrigação nos sistemas de irrigação por aspersão convencional são influenciadas diretamente por vários elementos climáticos, como temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade e direção do vento, entre outros. Além disso, a pressão de serviço dos aspersores e a intensidade de aplicação de água ao solo pelo sistema juntamente com as perdas de água por vazamento também interferem no desempenho do sistema. As perdas por evaporação direta da água aplicada atingem valores máximos da ordem de 5% nos sistemas irrigados por aspersão. Esses valores são encontrados em regiões de alta demanda evaporativa e em presença de ventos, que trocam o ar úmido da área irrigada pelo ar seco das áreas externas à irrigação (MANTOVANI et al., 2009).

As perdas por condução podem ser minimizadas, através de uma adequada manutenção do sistema de irrigação. As perdas por evaporação e arraste pelo vento podem ser reduzidas, evitando-se a irrigação em condições de vento forte e em horários de maior demanda evaporativa, ficando a eficiência de irrigação dependente, principalmente, da uniformidade de aplicação (CORDEIRO, 2006).

A eficiência na condução da água, desde o bombeamento ou derivação até o ponto de entrega ou de adução junto à parcela agrícola, constitui o primeiro passo para o atendimento das demandas hídricas das culturas durante a estação de cultivo e expressa às perdas por vazamentos no sistema. A perda de água por vazamento vai depender das condições de manutenção do projeto. Em caso de boa manutenção a perda é menor que 1%; entretanto, em sistemas com manutenção inadequada este valor pode passar de 10%, ou seja, a eficiência de condução de água (EC) será menor que 90%. Essas perdas ocorrem principalmente, nos acoplamentos da tubulação (BERNARDO et al., 2006).

### **2.2.3 Uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão fixa**

A uniformidade de aplicação de água é um dos parâmetros para medir a variabilidade de água aplicada pelos métodos de irrigação. É definida por Burt et al. (1997) como uma medida de uniformidade com a qual a água de irrigação é distribuída no campo.

Consiste num dos principais parâmetros para o diagnóstico da situação do funcionamento do sistema de irrigação, sendo um dos componentes para determinação do nível de eficiência no qual o sistema trabalha e pelo qual a lâmina aplicada deverá ser corrigida para fornecer água de modo a permitir o pleno desenvolvimento da cultura (MANTOVANI et al., 2009).

A uniformidade de aplicação de água é dos fatores de extrema importância em qualquer sistema de irrigação, porque afeta diretamente a eficiência do uso da água na agricultura irrigada e como consequência, a quantidade e a qualidade dos produtos agrícolas.

O conceito de uniformidade de distribuição foi introduzido por Christiansen (1942), referindo-se à variabilidade da lâmina de água aplicada ao longo da extensão da superfície do terreno irrigado.

Em sistemas de irrigação por aspersão convencional, a uniformidade de distribuição de água na superfície do solo é uma interação de fatores climáticos, de projeto e de operação (BERNARDO et al., 2005). As consequências desses fatores podem ser resumidas como: climático (velocidade e direção do vento); projeto (espaçamento



entre aspersores e entre linhas laterais, diâmetro das tubulações laterais, tipo e tamanho dos bocais e pressão de serviço do aspersor); e operacional (pressões de operação e condições de manutenção).

Principalmente nos sistemas de irrigação em áreas montanhosas, a pressão de serviço (PS) dos emissores é um fator importante a ser considerado na análise de uniformidade. Apesar do controle da pressão ser uma tarefa simples, a falta de conscientização sobre a sua importância faz com que a maioria dos sistemas tenha deficiência ou total falta de infraestrutura para medidas, ajustes e controle (MANTOVANI et al., 2009).

Segundo Mantovani et al. (2009), no dimensionamento da linha lateral, devem-se oferecer as condições adequadas, e homogêneas, para o funcionamento dos aspersores. O critério empregado para garantir essas condições é permitir uma variação de pressão, ao longo da linha lateral, de no máximo 20% da pressão de serviço do aspersor, o que corresponde a uma variação de vazão de no máximo 10% da vazão média dos aspersores.

Diversos coeficientes têm sido empregados para expressar a uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão. Segundo Bernardo et al. (2006), o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942), o Coeficiente de Uniformidade Estática (CUE) estabelecido por Wilcox e Swailes (1947) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) elaborado por Criddle et al. (1956), são os três coeficientes mais utilizados.

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) é considerado por muitos autores o principal indicador que descreve a uniformidade de irrigação, sendo usado para medir a variabilidade espacial da lâmina de água aplicada pelo sistema de irrigação.

Segundo Bernardo et al. (2005), em um sistema de irrigação com um coeficiente de uniformidade de 86 e 80% da área adequadamente irrigada a ED80 será 85%, ou seja, 80% da área receberá uma lâmina igual ou maior que 85% da lâmina média aplicada. Para esse sistema, aplicar uma lâmina de 1,0 unidade é necessário aplicar 1,18 (1,0/0,85) unidade depois de descontadas as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento.

O Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos recomenda o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), proposto por Criddle et al. (1956), que compara a média de 25 % das observações com menores valores, ou seja, a média do menor quartil, com a média total.

A análise conjunta dos três coeficientes permite a melhor avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por meio da uniformidade de aplicação de água em qualquer sistema, uma vez que o CUC, o Us e o CUD podem ser utilizados para a determinação da uniformidade em sistemas de irrigação por aspersão.

#### **2.2.4 Uniformidade de aplicação de água versus produtividade**

O aumento da uniformidade de aplicação de água na superfície do solo tem como objetivo básico melhorar a produtividade e, ou, a rentabilidade da propriedade. Segundo Ortega et al. (2004), a desuniformidade de aplicação de água nos sistemas de irrigação reduz o retorno econômico que se pode obter em áreas irrigadas e aumenta o impacto ambiental desta atividade em função da redução da produtividade das culturas irrigadas e do desperdício de água, energia e fertilizantes.

Segundo Cordeiro (2006), a água em excesso ou em deficiência pode levar a prejuízos econômicos relevantes. Quando aplicada em excesso, além de sua perda, pode ocorrer o carreamento de nutrientes para zonas do solo não exploradas pelas raízes, reduzindo a produtividade. Por outro lado, a aplicação deficiente nos períodos críticos pode provocar a redução na produtividade e riscos de concentração de sais no solo nas zonas onde as raízes ativas se concentram. O volume aplicado de água deve completar as precipitações insuficientes, otimizando a umidade do solo, e deve evitar perdas vegetativas e produtivas da cultura sem alterar as propriedades físico-químicas do solo.

Freitas (2000) estudou o efeito da uniformidade de distribuição de água e de lâminas de irrigação na produtividade da cultura do milho. O autor trabalhou com dois níveis de CUC, um alto (84%) e outro baixo (67%), e com cinco lâminas de irrigação, 50, 75, 100, 125 e 150% da lâmina de irrigação recomendável para atender às necessidades hídricas da cultura. Para os tratamentos com 100% de reposição da lâmina recomendável e CUC de 84 e 67%, o autor observou a influência da

uniformidade de distribuição na produtividade da cultura, sendo essa de 6.413 e 4.675 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Pereira et al. (2002), advertem que no caso de plantas perenes, as relações entre uniformidade e a lâmina aplicada não são tão diretas, em decorrência das características fisiológicas mais complexas e de outros fatores como a profundidade do sistema radicular.

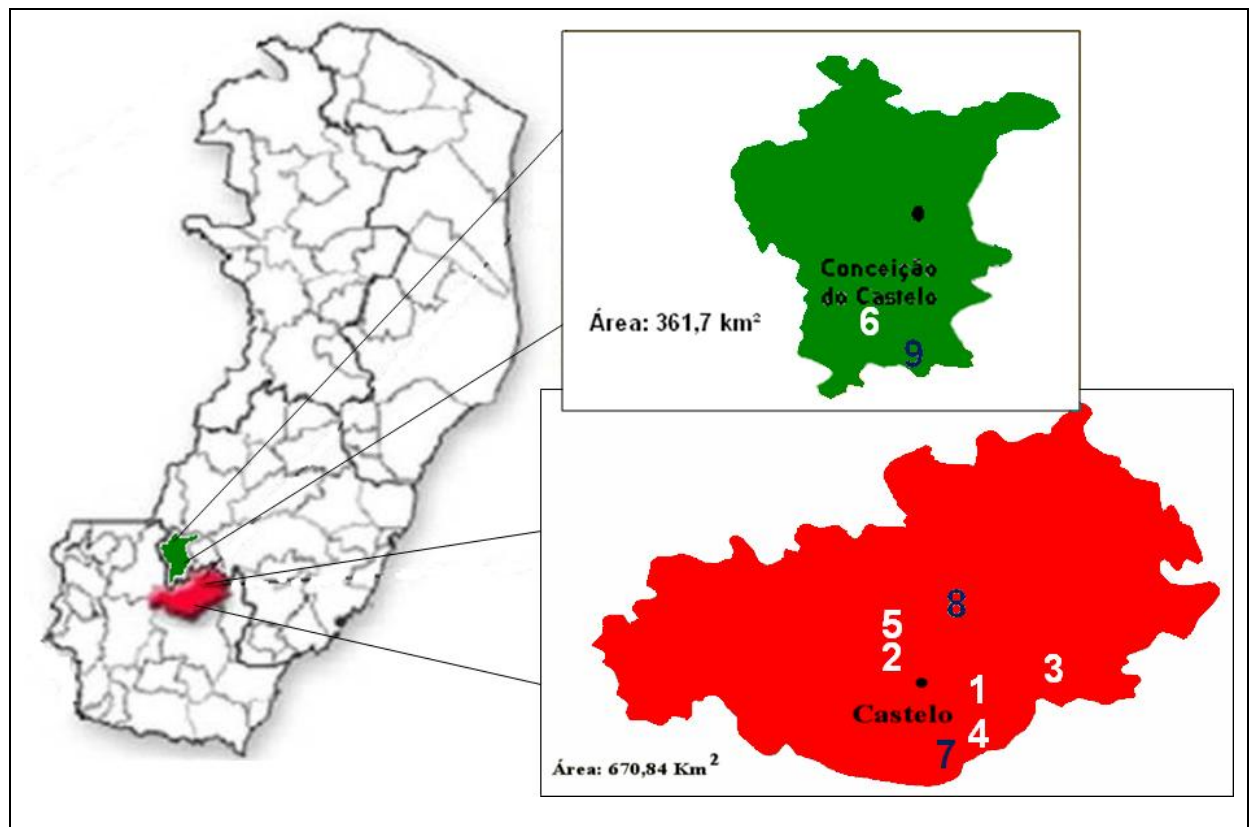
Na cafeicultura irrigada existem poucos trabalhos evidenciando as qualidades e benefícios alcançados com o manejo adequado da irrigação, bem como estratégias de manejo e validação destas (VICENTE, 2005).

Mantovani & Soares (2003) avaliaram as necessidades de irrigação e de energia para um pivô de 45 ha, irrigando um cafeeiro na fase adulta, antes da manutenção do sistema de irrigação (CUC = 65%) e depois da manutenção (CUC = 86%). Os resultados indicaram que a melhoria no sistema de irrigação possibilitou uma economia de 240 mm por ano, 46,167 kWh e R\$ 6.153,00 (26%).

## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.3.1 Localização e caracterização dos projetos avaliados

Este trabalho foi desenvolvido em nove propriedades produtoras de café conilon, com sistema de irrigação por aspersão fixa, tendo como área de abrangência a região Sul do Estado do Espírito Santo, municípios de Castelo e Conceição do Castelo, no período de abril a outubro de 2012 (Figura 1).



**Figura 1** – Localização dos projetos de irrigação por aspersão avaliados nos municípios de Castelo e Conceição do Castelo.

A seleção dos projetos e sua localização foram feitas em levantamentos realizados na região por técnicos do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER, seguindo como critérios: ser sistema de irrigação fixa, em áreas de relevo ondulado a acidentado, com distribuição das linhas laterais instaladas em nível e em declive.

A escolha dos municípios para a avaliação dos projetos de irrigação por aspersão convencional foi devido à maior concentração deste sistema nesses municípios.

O clima da região é classificado, de acordo com a classificação de Köppen, do tipo Aw, clima tropical com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso. A precipitação média anual é de aproximadamente 1200 mm e temperatura média anual de 23°C. O relevo predominante na região é montanhoso.

Na determinação da declividade optou-se pela utilização do clinômetro de bolso, devido à sua praticidade e eficiência, estabelecendo o valor médio de três pontos do setor, tendo os valores sido expressos em porcentagem.

Na Tabela 1, são apresentados os projetos conforme direção da linha lateral, a área irrigada e a área o setor avaliado, idade da instalação do sistema e da cultura nos projetos de irrigação por aspersão fixa avaliados no Sul do Estado do Espírito Santo.

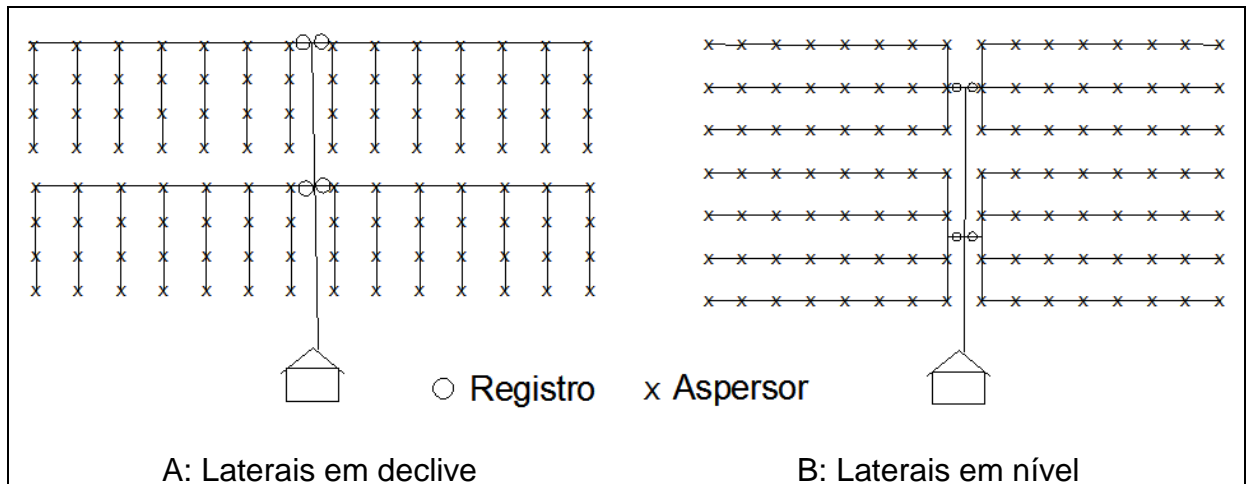
**Tabela 1 – Projeto, área irrigada e idade da instalação do sistema e da cultura**

Projeto	Área Irrigada (ha)	Idade	
		Sistema	Cultura
1 Declive	2,1	2 anos	2 anos
2 Declive	6,0	1 mês	1 mês
3 Declive	45,0	5 anos	5 anos
4 Declive	30,0	2 anos	2 anos
5 Declive	6,0	10 meses	10 meses
6 Declive	1,2	2 meses	2 meses
7 Nível	30,0	5 anos	5 anos
8 Nível	2,1	2 anos	3 anos
9 Nível	1,4	2 anos	2 anos

### 2.3.2 Esquemas dos projetos de irrigação por aspersão fixa avaliados

Nos sistemas de aspersão são utilizadas diferentes formas de distribuição das tubulações na área: em malha, com troca de aspersores ou fixa. Uma variação da aspersão fixa também utilizada na região é a distribuição das linhas laterais em declive, também conhecida como sentido “morro abaixo”, procurando compensar a perda de carga na tubulação com o desnível do terreno, visando menor variação na pressão de serviço dos aspersores ao longo da linha lateral.

Foram selecionadas nove propriedades, sendo seis com linhas laterais em declive (A) e três com linhas laterais em nível (B), conforme figura 2.

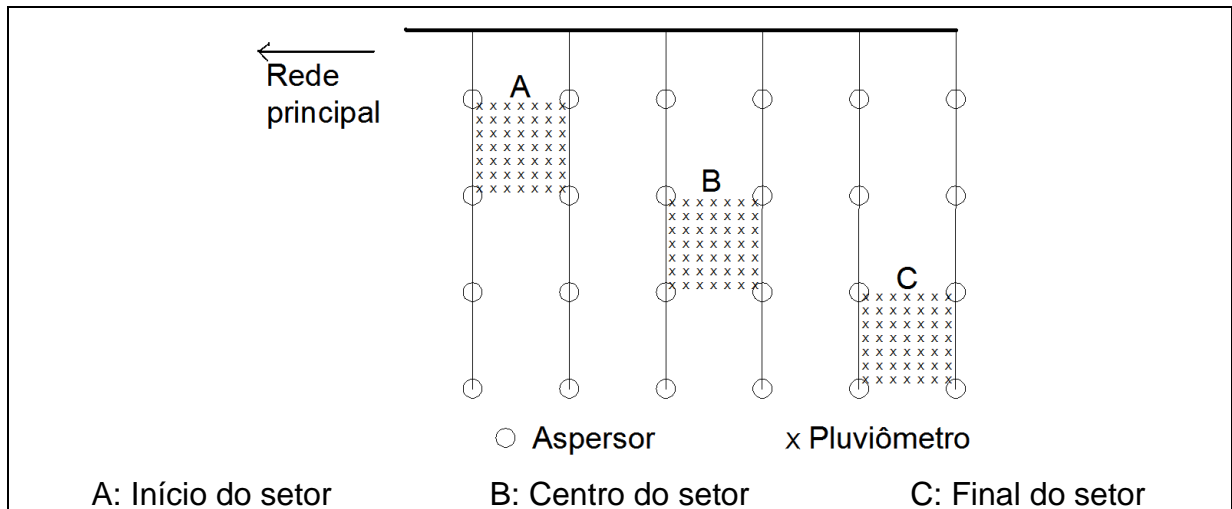


**Figura 2** – Esquema de distribuição das linhas laterais dos sistemas de irrigação por aspersão fixa em áreas acidentadas.

### 2.3.3 Uniformidade de aplicação de água

A uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação por aspersão fixa foi realizada utilizando a metodologia de Christiansen (1942), apresentada por Bernardo et al. (2006), e consistiu em coletar as precipitações por meio de pluviômetros colocados em uma malha de pontos entre quatro aspersores distribuídos de acordo com o espaçamento.

Em cada projeto de irrigação foi escolhido um setor para avaliação (Figura 3), sendo realizados três testes de uniformidade no setor em funcionamento: A - no início do setor, próximo à linha de derivação; B - no centro do setor, representando a pressão de operação média; e C - no final do setor.



**Figura 3** – Esquema de distribuição dos pluviômetros nas linhas laterais dos sistemas de irrigação por aspersão fixa.

Para avaliação da irrigação foram escolhidos quatro aspersores: no início, centro e final do setor (Figura 3) onde subdividiu-se a área entre os quatro aspersores que foram avaliados em subáreas retangulares de  $4 \text{ m}^2$ , onde foram instalados os coletores.

Os coletores foram colocados no centro de cada subárea dos quatro aspersores avaliados entre duas linhas laterais funcionando simultaneamente, e o volume coletado representou a precipitação de cada subárea. Os mesmos foram suspensos acima do nível da altura das plantas de café através do uso de suportes, instalados em posição vertical, mantendo nivelada a seção de captação (Figura 4).



**Figura 4** - Sistema de irrigação por aspersão fixa em funcionamento com os coletores sobre a cultura do café.

Paralelamente à área do teste, foi colocado um coletor com volume conhecido de água, para medir a evaporação ocorrida durante o teste. A irrigação permaneceu em funcionamento por uma hora, que foi o tempo de realização do teste. Ao final do teste foi desligado o conjunto motobomba, onde foi medido o volume em cada coletor para conhecimento da precipitação em cada subárea. Um recipiente de volume conhecido de água foi colocado próximo à área de teste. No início do teste e no final do teste mediu-se o volume desse recipiente e pela diferença determinou-se o volume evaporado durante o teste. Foi acrescentado em cada coletor o volume evaporado. Os volumes totais de água aplicados em cada subárea foram determinados por meio dos volumes coletados mais os evaporados. O volume total de cada pluviômetro foi convertido em lâmina d'água, dividindo o volume coletado pela área de abertura do coletor (Figura 5).



**Figura 5** - Coleta das lâminas de água no sistema de irrigação por aspersão fixa.

Após o término das anotações dos volumes em cada coletor, o conjunto motobomba foi ligado novamente, esperou-se a estabilização, para anotação das seguintes informações: mediu-se a vazão nos bocais, de maior e de menor diâmetro, nos quatro aspersores selecionados e o tempo gasto para encher um recipiente com volume de 10 litros, com auxílio de cronômetro, mangueiras e balde. Utilizando um manômetro com tubo Pitot, avaliou-se a pressão de serviço ( $P_s$ ) do aspersor em funcionamento, (Figura 6).

Também foram anotadas as características: modelo do aspersor, marca, diâmetro dos bocais, espaçamento entre aspersores e linhas laterais, tempo de giro, raio de alcance e altura do tubo de elevação.



As avaliações dos sistemas de irrigação por aspersão fixa foram realizadas no período matutino, horário de funcionamento da maioria dos projetos.



**Figura 6** - Detalhe da coleta das pressões no sistema de irrigação por aspersão fixa.

A variação da pressão de serviço do aspersor, conforme Mantovani et al. (2009), é expressa por:

$$V P_s = \frac{100(P_{s_{máx}} - P_{s_{mín}})}{P_{s_{méd}}} \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

$V P_s$  = Variação da pressão de serviço, %;

$P_{s_{máx}}$  = Pressão de serviço máxima, kPa;

$P_{s_{mín}}$  = Pressão de serviço mínima, kPa;

$P_{s_{méd}}$  = Pressão de serviço média, kPa;

A variação da vazão de serviço do aspersor, conforme Mantovani et al. (2009), é expressa por:

$$V Q = \frac{100(Q_{máx} - Q_{mín})}{Q_{méd}} \quad (\text{eq. 2})$$

em que:

V Q = Variação da pressão de serviço, %;

$Q_{\text{máx}}$  = Vazão máxima,  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ ;

$Q_{\text{mín}}$  = Vazão mínima,  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ ;

$Q_{\text{méd}}$  = Vazão média,  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ ;

Com os dados de precipitação de cada teste, determinou-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC, Equação 3), o Coeficiente de Uniformidade Estatística ( $U_s$ , Equação 4) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD, Equação 8).

O CUC, proposto por Christiansen (1942), descrito pela Eq. 3, adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão:

$$\text{CUC} = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |L_i - L_m|}{n L_m} \right] \quad (\text{eq. 3})$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

$L_i$  = lâmina obtida no coletor “i”, mm;

$L_m$  = lâmina média de todas as observações, mm;

n = número de coletores.

A Tabela 2 apresenta a classificação do desempenho de sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), segundo Mantovani (2001).

**Tabela 2** - Classificação dos valores do desempenho dos sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

<b>Classificação</b>	<b>CUC (%)</b>
Excelente	≥ 90
Bom	80  — 90
Razoável	70  — 80
Ruim	60  — 70
Inaceitável	< 60

O Coeficiente de Uniformidade Estatística ( $U_s$ ) proposto por Wilcox & Swailes (1947), que utiliza o desvio-padrão como medida de dispersão, é outro coeficiente aplicado em sistemas de irrigação por aspersão. Esse coeficiente representa a variação ocorrida nas vazões dos emissores avaliados e pode ser estimado utilizando-se a seguinte equação:

$$U_s = 100 \left[ 1 - \frac{s_d}{L_m} \right] \quad (\text{eq. 4})$$

em que:

$U_s$  = coeficiente de uniformidade estatística, %;

$s_d$  = desvio-padrão dos dados de precipitação;

$L_m$  = média das precipitações, mm;

A Tabela 3 apresenta a classificação do desempenho de sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade Estatística ( $U_s$ ), segundo Mantovani (2001).

**Tabela 3** - Classificação dos valores do Coeficiente de Uniformidade Estatística ( $U_s$ )

<b>Classificação</b>	<b><math>U_s</math> (%)</b>
Excelente	≥ 90
Bom	80  — 90
Razoável	70  — 80
Ruim	60  — 70
Inaceitável	< 60

O CUD é expresso pela seguinte equação:

$$\text{CUD} = 100 \frac{L_q}{L_m} \quad (\text{eq.5})$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$L_q$  = média de 25% das observações com menores valores, mm;

$L_m$  = lâmina média de todas as observações, mm.

A Tabela 4 apresenta a classificação do desempenho de sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), segundo Mantovani (2001).

**Tabela 4** - Classificação dos valores do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

Classificação	CUD (%)
Excelente	$\geq 84$
Bom	68  — 84
Razoável	52  — 68
Ruim	36  — 52
Inaceitável	$< 36$

#### 2.3.4 Avaliação do desempenho da irrigação por aspersão fixa

Antes de acionar o sistema, foram coletadas amostras de solo ao acaso em seis pontos dentro da área avaliada para formação de uma amostra composta representativa da camada de 0,00 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m de profundidade (Figura 7). Foram coletadas amostras deformadas, com o auxílio de uma sonda, para determinação da densidade do solo pelo método da proveta e da determinação da retenção de água no solo, com o auxílio do extrator de Richards, nas tensões: 6, 10, 33, 80, 100, 300, 800 e 1500 kPa (EMBRAPA, 1997).

Para determinação da umidade atual em cada área de estudo, a amostragem de solo foi realizada antes de cada irrigação, com amostras compostas coletadas em três irrigações consecutivas, de acordo com o manejo realizado pelo produtor. As amostras foram acondicionadas em recipientes vedados, com a umidade obtida pelo método do microondas (SOUZA et al., 2002).



**Figura 7** - Coleta de amostras de solo na profundidade de 0,00 - 0,20 m e 0,20 – 0,40 m nos sistemas de irrigação por aspersão fixa.

As análises físico-hídricas foram realizadas no Laboratório de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, localizado no Município de Alegre-ES (Figura 8).



**Figura 8** - Detalhe das análises físico-hídricas dos solos (retenção de água no solo).

A profundidade do sistema radicular do cultivo para determinação da lâmina real de irrigação necessária foi definida a partir de valores citados na literatura e observações de campo, sendo utilizado nas culturas de café em produção o valor de 0,40 m, considerando que 80% das raízes se concentram nessas profundidades. Foram utilizados valores de 0,20 m nos projetos “2”, “5” e “6”, visto que as mesmas encontravam-se com 1, 10 e 2 meses de idade, respectivamente.

A irrigação real necessária é expressa por:

$$IRN = 100 \frac{(Cc - Ua)}{10} Ds Z \quad (\text{eq.6})$$

em que:

IRN = irrigação real necessária, mm;

CC = teor de umidade do solo na capacidade de campo, % em peso;

Ua = teor de umidade do solo antes da irrigação, % em peso;

Ds = densidade do solo, g cm<sup>-3</sup>;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

A determinação da lâmina aplicada durante a irrigação foi obtida através da equação:

$$L_{apl} = 100 \frac{1000 Q T}{S1 S2} \quad (\text{eq. 7})$$

em que:

L<sub>apl</sub> = lâmina aplicada, mm;

Q = vazão do sistema, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>;

T = tempo, h;

S1 = espaçamento entre posições dos aspersores ao longo da linha lateral, m;

S2 = espaçamento entre linhas laterais, m.

Em seguida, determinou-se: a lâmina média coletada (mm), a lâmina armazenada na zona radicular (mm) e a lâmina deficitária (mm). Posteriormente, estimou-se a lâmina percolada (mm).

$$L_{\text{arm}} = \text{IRN} - L_{\text{def}} \quad (\text{eq. 8})$$

em que:

$L_{\text{arm}}$  = lâmina armazenada na zona radicular, mm;

IRN = irrigação real necessária, mm;

$L_{\text{def}}$  = lâmina deficitária, mm.

$$L_{\text{def}} = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \text{IRN})}{n}, \text{ quando } (L_i - \text{IRN}) < 0 \quad (\text{eq. 9})$$

em que:

$L_{\text{def}}$  = lâmina deficitária, mm;

$L_i$  = lâmina obtida no coletor "i", mm;

IRN = irrigação real necessária, mm;

n = número de coletores (em déficit).

$$L_{\text{perc}} = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \text{IRN})}{n}, \text{ quando } (L_i - \text{IRN}) > 0 \quad (\text{eq. 10})$$

em que:

$L_{\text{perc}}$  = lâmina percolada, mm;

$L_i$  = lâmina obtida no coletor "i", mm;

IRN = irrigação real necessária, mm;

n = número de coletores (em excesso).

Para a avaliação do desempenho do sistema de irrigação por aspersão fixa, os parâmetros técnicos utilizados foram os seguintes: porcentagem de área adequadamente irrigada ( $P_{ad}$ ), coeficiente de déficit ( $C_d$ ), perdas por percolação ( $P_{per}$ ), eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada ( $E_{d_{80}}$ ) e eficiência de aplicação ( $E_a$ ).

A porcentagem de área adequadamente irrigada ( $P_{ad}$ ) foi obtida com a sistematização das frequências acumuladas das lâminas de irrigação. Em seguida, efetuou-se o cálculo do coeficiente de déficit, que é a razão entre a lâmina de água deficitária e a lâmina de irrigação real necessária (HART et al., 1979), por meio da seguinte equação:

$$C_d = 100 \frac{L_{def}}{IRN} \quad (\text{eq. 11})$$

em que:

$C_d$  = coeficiente de déficit, %;

$L_{def}$  = lâmina deficitária, mm;

$IRN$  = irrigação real necessária, mm.

As perdas por percolação foram estimadas pela seguinte equação:

$$P_p = 100 \frac{L_{per}}{L_{m_{col}}} \quad (\text{eq. 12})$$

em que:

$P_p$  = perdas por percolação, %;

$L_{per}$  = lâmina percolada, mm;

$L_{m_{col}}$  = lâmina média coletada, mm.

A eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada ( $E_{D_{80}}$ ) foi obtida segundo Bernardo et al. (2006), de acordo com o coeficiente de uniformidade (CUC).



A eficiência de aplicação de água foi calculada na forma conceitual apresentada por Burt et al. (1997):

$$E_a = 100 \frac{L_{arm}}{L_{apl}} \quad (\text{eq. 13})$$

em que:

$E_a$  = eficiência de aplicação de água, %;

$L_{arm}$  = lâmina média armazenada, mm;

$L_{apl}$  = lâmina aplicada, mm.

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.4.1 Pressão de funcionamento e vazão dos aspersores

Os valores correspondentes à declividade do terreno (Decl), número de aspersores em funcionamento no setor ( $N^{\circ}$  asp), diâmetros dos bocais (D), pressão de serviço (Ps), vazão dos aspersores (Q), variação da pressão (V Ps), variação de vazão (V Q), dos projetos de irrigação por aspersão fixa, nos setores avaliados estão apresentados na Tabela 5.

Observa-se, pela Tabela 5, que os sistemas apresentam variabilidade das pressões de serviço entre os diversos aspersores nos setores avaliados, o que é ocasionado pelas condições topográficas dos terrenos (declividade de 7,0% a 62,5%) e pelas perdas de carga ocorridas no sistema. Essa variação de pressão, aliada às dimensões dos bocais dos aspersores, provocaram variações de vazão em média de 20,5% nos sistemas de laterais em declive (projetos 1 a 6) e 38,0% nos sistemas de laterais em nível (projetos 7 a 9), consideradas excessivas, sendo recomendada no máximo 10%.

A variação da vazão dos aspersores foi de 7,1% a 34,7% nos projetos com laterais em declive e de 26,2% a 46,0% nos projetos com laterais em nível. A variação de pressão e vazão dos aspersores foi adequada em 33,3% dos projetos com laterais em declive e foi inadequada para todos os projetos em nível.

**Tabela 5** – Declividade do Terreno (Decl), número de aspersores em funcionamento no setor (N° asp), diâmetro dos bocais (D), pressão de serviço (Ps), vazão dos aspersores (Q), variação da pressão (V Ps), variação de vazão (CV Q), dos projetos de irrigação por aspersão fixa, no setor avaliado

Variáveis	Un.	Sistema								
		-----Laterais em declive-----					-Laterais em nível-			
		P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9
Decl	%	7,0	14,1	22,2	32,5	17,6	62,5	24,9	46,6	44,5
N° asp	ud	49	25	100	45	35	17	45	27	35
D <sub>bocal maior</sub>	mm	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8	3,0
D <sub>bocal menor</sub>	mm	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,4	2,6
Ps <sub>Máx</sub>	kPa	230	350	340	250	260	380	290	380	200
Ps <sub>Méd</sub>	kPa	202	330	260	209	251	279	232	289	144
Ps <sub>Min</sub>	kPa	180	310	180	160	240	210	190	210	100
Q <sub>Máx</sub>	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	0,82	1,06	1,11	0,83	0,88	1,12	0,97	1,02	0,80
Q <sub>Méd</sub>	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	0,74	1,02	0,95	0,77	0,85	0,99	0,84	0,84	0,63
Q <sub>Min</sub>	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	0,68	0,96	0,78	0,63	0,82	0,86	0,75	0,67	0,51
V Ps	%	24,8	12,1	61,5	43,1	8,0	60,9	43,1	58,8	69,4
V Q	%	18,9	9,8	34,7	26,0	7,1	26,3	26,2	41,7	46,0

Nenhum dos projetos avaliados apresentou mecanismo de controle de pressão (válvula reguladora de pressão ou registros). A pressão dos aspersores oscilou de 100 a 380 kPa, sendo que o recomendado pelo fabricante seria o mínimo de 200 kPa e no máximo 350 kPa.

No projeto 5 verifica-se as menores variações de pressão e vazão dos aspersores, 8,0% e 7,1%, respectivamente. No projeto 9 verifica-se as maiores variações de pressão e vazão dos aspersores, 69,4% e 46,0%, respectivamente.

Esses valores demonstram que as diferenças de nível nas posições dos diversos aspersores na irrigação fixa resultaram, na maioria dos casos, em variações de pressão e vazão acima do limite adequado e homogêneo para o funcionamento dos aspersores. Os projetos com laterais em declive não foram suficientes para manter essas diferenças de pressões e vazões aceitáveis, uma vez que outros fatores relacionados à elaboração e instalação dos projetos de irrigação podem ter

contribuído para o aumento dessas variações. Em todos os projetos com linhas laterais em declive, a maior pressão encontrada foi no final da linha, indicando que o diâmetro do tubo deveria ser menor que o utilizado para menores variações de pressão e vazão.

O acompanhamento técnico na elaboração, instalação e funcionamento dos projetos, associados a mecanismos de controle de pressão (registros e válvula de controle de pressão), podem diminuir a diferença de vazão entre os aspersores nas situações de maior desnível geométrico.

Oliveira & Figueiredo (2007) também observaram que em áreas cuja diferença de nível entre as diversas posições de irrigação é maior ou igual que a variação máxima permissível de pressão, a redução do espaçamento entre os aspersores não melhora a uniformidade, sendo recomendadas nessas situações instalação de válvulas reguladoras de pressão e, se necessário então, redução do espaçamento após a colocação das válvulas.

#### 2.4.2 Uniformidade de aplicação de água

Os valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e as respectivas classificações dos valores dos coeficientes de uniformidade dos projetos de irrigação por aspersão fixa avaliados estão apresentados na tabela 6.

**Tabela 6** - Valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no início, no centro, no final, média, coeficiente de variação (CV) e respectiva classificação dos projetos de irrigação por aspersão fixa

Projeto	CUC					
	Início (%)	Centro (%)	Final (%)	Média (%)	CV (%)	Classificação
1	75,50	67,08	63,24	68,61	9,14	Ruim
2	78,36	76,51	77,17	77,35	1,21	Razoável
3	66,68	81,21	64,75	70,88	12,69	Razoável
4	72,80	78,21	73,36	74,79	3,98	Razoável
5	81,48	85,09	81,72	82,76	2,44	Bom
6	51,76	64,21	56,14	57,37	11,01	Inaceitável
7	63,80	72,30	50,90	62,33	17,29	Ruim
8	81,70	77,13	64,16	74,33	12,24	Razoável
9	67,77	58,09	73,61	66,49	11,79	Ruim

Observando os valores de CUC para os sistemas de irrigação em estudo (Tabela 6), nota-se que os projetos avaliados apresentam valores inferiores a 90%, o que não é recomendado para culturas com alto valor comercial (Bernardo et al., 2005). Apenas 11,1% dos projetos avaliados apresentam valores de CUC de 80% até 90%, o que é classificado como bom, e 88,9% dos projetos, apresentam valores inferiores a 80%. Esses resultados corroboram com os encontrados por Martins et al. (2011) no sul do Espírito Santo, onde nenhum dos sistemas estudados na cultura do milho apresentaram valores de CUC superiores a 90%.

Os projetos de aspersão avaliados apresentaram baixa uniformidade de aplicação de água, sendo que 83,3% dos projetos com laterais em declive e 100% dos projetos com laterais em nível apresentam CUC abaixo de 80%. A média dos valores de CUC para os projetos com laterais em declive e em nível foram de 71,96% e 67,72%, respectivamente. Os dois esquemas de aspersão fixa avaliados apresentam baixa uniformidade da aplicação de água e os irrigantes da região não fazem nenhuma correção, pois dificilmente identificam as variações na aplicação ou distribuição de água.

Os valores do Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us) e as respectivas classificações dos valores dos coeficientes de uniformidade dos projetos de irrigação por aspersão fixa avaliados estão apresentados na tabela 7.

**Tabela 7** - Valores do Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us), no início, no centro, no final, média, coeficiente de variação (CV) e respectiva classificação dos projetos de irrigação por aspersão fixa

Projeto	Us					
	Início (%)	Centro (%)	Final (%)	Média (%)	CV (%)	Classificação
1	70,79	58,70	51,11	60,22	16,49	Ruim
2	73,24	71,79	73,31	72,78	1,18	Razoável
3	58,29	75,94	57,51	63,91	16,31	Ruim
4	63,91	73,13	68,20	68,41	6,74	Ruim
5	77,14	81,50	78,22	78,95	2,88	Razoável
6	40,97	60,42	46,30	49,23	20,42	Inaceitável
7	54,98	66,03	31,56	50,86	34,61	Inaceitável
8	74,88	67,56	57,72	66,72	12,91	Ruim
9	60,42	48,63	65,52	58,19	14,89	Inaceitável

Analisando o valor do Us obtido nesses projetos, observa-se que somente dois projetos apresentam valores classificados como razoável para sistemas de irrigação por aspersão convencional. Em 33,3 % dos projetos os valores são inaceitáveis. A média dos valores de Us para os projetos com laterais em declive e em nível foram de 65,58 % e 58,59 %, respectivamente.

Os valores do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e as respectivas classificações dos valores dos coeficientes de uniformidade dos projetos de irrigação por aspersão fixa avaliados estão apresentados na tabela 8.

**Tabela 8** - Valores do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), no início, no centro, no final, média, coeficiente de variação (CV) e respectiva classificação dos projetos de irrigação por aspersão fixa

Projeto	CUD			Média	CV	Classificação
	Início (%)	Centro (%)	Final (%)			
1	62,40	54,58	46,61	54,53	14,48	Razoável
2	71,50	70,54	66,63	69,56	3,71	Bom
3	57,18	70,17	54,18	60,51	14,05	Razoável
4	65,20	67,52	65,10	65,94	2,08	Razoável
5	71,43	75,22	73,50	73,38	2,59	Bom
6	37,02	54,88	46,28	46,06	19,39	Ruim
7	53,14	52,27	44,97	50,13	8,85	Ruim
8	72,29	72,49	54,44	66,41	15,61	Razoável
9	50,55	44,57	58,51	51,21	13,66	Ruim

De acordo com valores de CUD, verifica-se que 77,7 % dos projetos avaliados apresentam valores de coeficiente de uniformidade de distribuição de água abaixo do valor recomendado para sistemas de irrigação por aspersão, que de acordo com a classificação apresentada por Mantovani (2001), é de 68%. A média dos valores de CUD para os projetos com laterais em declive e laterais em nível foram de 61,66% e 55,91%, respectivamente.

Os projetos de irrigação por aspersão fixa utilizados na cafeicultura no sul do Estado do Espírito Santo apresentam baixos valores de CUC, Us e CUD, também quando comparados com os resultados obtidos por Martins et al. (2011), Bonomo et al. (2008) e Alencar et al. (2007).

Os resultados encontrados para CUC, Us e CUD permitem visualizar a baixa uniformidade de água nos sistemas de irrigação avaliados, dificilmente identificada pelos produtores rurais, causada por diversos fatores observados durante o levantamento de campo, como: instalação dos sistemas sem um adequado projeto de engenharia por profissionais habilitados, implantação do sistema no campo sem seguir as especificações do equipamento e do projeto, manejo inadequado do sistema quanto à regulação da pressão e funcionamento dos aspersores, além das dificuldades relacionadas à topografia.

Para Mantovani & Soares (2003), o sucesso do empreendimento de irrigação do cafeeiro depende de vários aspectos e quatro etapas são fundamentais para o êxito completo do empreendimento: 1- qualidade do projeto; 2- qualidade do equipamento; 3- qualidade da implantação do sistema no campo; e 4- qualidade do manejo do sistema no campo.

Os valores de CUD seguiram os valores de CUC, porém com valores inferiores, devido ao fato do CUD ser mais rigoroso, por estar baseado na média das lâminas de  $\frac{1}{4}$  da área que recebe as menores lâminas. De acordo com Burt et al. (1997), citado por Bonomo (1999), por esta e outras razões, o CUD vem sendo cada vez mais adotado em várias partes do mundo.

#### **2.4.3 Avaliação do manejo da irrigação por aspersão fixa**

Segundo Bonomo (1999), há dois parâmetros básicos a serem avaliados: se a irrigação foi realizada no momento certo; e se a lâmina aplicada foi adequada para atender às necessidades da cultura. Um dos critérios utilizados para se avaliar a necessidade ou não de irrigação naquele momento é por meio do fator de disponibilidade de água no solo ( $f$ ), o qual indica se, conforme umidade do solo, a cultura está sob uma condição de estresse hídrico ou não. Para o cafeeiro, considerando pertencer ao grupo de forrageiras, grãos e culturas com sistema radicular profundo, conforme Mantovani & Soares (1998), foi utilizado o valor de  $f = 0,5$ .

Na tabela 9 estão os percentuais de umidade do solo equivalentes à capacidade de campo (10 kPa) e ponto de murcha permanente (1500 kPa), umidade atual de água

no solo (Ua), com três repetições conforme manejo do produtor, densidade do solo (Ds) e disponibilidade total de água (DTA), nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

**Tabela 9** - Valores de umidade do solo à capacidade de campo (Cc), umidade no ponto de murcha permanente (PMP), umidade atual da água do solo (Ua) com três repetições conforme manejo do produtor, densidade do solo (Ds) e disponibilidade total de água (DTA), para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, nos projetos avaliados

Projeto	Camada (cm)	Cc -----	PMP % peso	Ua1 -----	Ua2 -----	Ua3 -----	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	DTA (mm cm <sup>-1</sup> )
1	0-20	23,21	9,50	20,21	16,67	17,02	1,12	1,54
	20-40	23,14	10,15	23,36	20,59	25,00	1,16	1,51
2	0-20	15,66	7,04	13,56	12,50	15,37	1,19	1,03
	20-40	17,43	8,97	15,27	14,29	14,52	1,19	1,01
3	0-20	17,74	8,67	11,01	10,62	11,84	1,21	1,10
	20-40	21,59	11,19	19,19	18,52	19,27	1,19	1,24
4	0-20	26,22	12,58	15,67	12,82	14,11	1,06	1,45
	20-40	30,22	14,13	17,99	15,73	16,67	1,07	1,72
5	0-20	15,02	6,43	11,11	15,19	10,43	1,19	1,02
	20-40	18,36	8,35	13,93	15,31	13,89	1,22	1,22
6	0-20	25,50	15,37	20,26	20,59	16,87	1,04	1,05
	20-40	31,58	18,98	22,67	24,72	20,99	1,00	1,26
7	0-20	29,95	16,51	24,00	19,77	23,87	1,07	1,44
	20-40	35,01	17,75	25,97	25,67	25,19	1,04	1,80
8	0-20	28,90	15,60	13,86	13,48	13,75	1,03	1,37
	20-40	29,43	17,67	18,39	18,49	18,51	1,03	1,21
9	0-20	22,28	9,43	9,47	10,20	9,71	1,09	1,40
	20-40	23,14	9,30	11,37	8,91	10,25	1,18	1,63

Observa-se que os valores da capacidade de campo (Cc) variam de 15,02 a 35,01% e o ponto de murcha permanente (PMP) de 6,43 a 18,98%. Os valores de densidade do solo (Ds) variam de 1,00 a 1,22%.

Os valores da disponibilidade total de água (DTA) variam entre 1,01 a 1,80 mm cm<sup>-1</sup>, estando, segundo Bernardo et al. (2006), na faixa de disponibilidade para solos de



textura média. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza et al. (2011), em que os valores variaram de 0,8 a 2,0 mm cm<sup>-1</sup>.

Observa-se que o solo do projeto 7 apresenta os maiores valores de Cc (29,95 e 35,01%) e PMP na profundidade de 0-20 cm (16,51%). O projeto 6 apresenta o maior valor do PMP na profundidade de 20-40 cm (18,98%). O solo do projeto 5 apresenta os menores valores de Cc (15,02 e 18,36%) e PMP (6,43 e 8,35%).

É comum na região usar valores estimados com base na observação da textura do solo para elaboração de projeto ou manejo da irrigação. As variações dos valores de Cc e PMP nos solos estudados indicam que a margem de erro desta prática é alta e reforça a importância da determinação destes valores em laboratório para o manejo e uso eficiente do sistema de irrigação.

Nos projetos 8 e 9, os valores da Ua foram próximos ao PMP, podendo afetar negativamente a produção do café. Nos projetos 2 e 5, a Ua está muito próxima da Cc.

Observa-se, na tabela 10, os valores da irrigação real necessária (IRN) e o déficit de água no solo, antes de cada irrigação, com até três repetições e a média dos valores, conforme o manejo realizado pelo produtor.

**Tabela 10** – Resultados dos parâmetros de avaliação do manejo de irrigação para os projetos de irrigação por aspersão fixa: irrigação real necessária (IRN), déficit de água do solo (Def), com até três repetições e a média dos valores, conforme manejo do produtor

Projeto	IRN (mm)				Def (%)			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
1	6,7	21,8	10,7	13,1	10,1	33,7	15,4	19,7
2	5,0	7,5	0,7	4,4	24,4	36,7	3,3	21,5
3	22,0	24,5	19,8	22,1	48,8	54,0	43,7	48,8
4	48,5	59,4	54,7	54,2	76,7	94,2	86,5	85,8
5	9,1	0,0	10,7	6,6	45,5	0,0	53,4	33,0
6	10,9	10,2	18,0	13,0	51,7	48,5	25,2	61,8
7	31,4	41,0	33,2	35,2	48,3	64,9	51,1	54,7
8	53,7	54,3	53,7	53,9	103,1	104,5	103,4	103,8
9	57,7	57,9	57,8	57,8	92,3	98,4	95,4	95,4

Na tabela 10, observa-se a variação dos valores da IRN e Def no momento em que o produtor decide efetuar cada irrigação, demonstrando a dificuldade encontrada em estabelecer o momento certo para irrigar.

Pela tabela 11, verifica-se que, para 55,5% dos projetos avaliados, a irrigação foi iniciada com o déficit de água do solo (Def) acima do limite recomendado de disponibilidade de água no solo, de 50%. Nos demais projetos, o valor do Def estava abaixo do máximo recomendado.

**Tabela 11** – Resultados dos parâmetros de avaliação do manejo de irrigação para os projetos de irrigação por aspersão fixa: profundidade efetiva do sistema radicular (Z), capacidade total de armazenamento de água (CTA), capacidade real de armazenamento de água (CRA), irrigação real necessária (IRN), déficit de água do solo (Def)

Projeto	Z (cm)	CTA (mm)	CRA (mm)	IRN (mm)	Def (%)
1	40	61,0	30,5	13,1	19,7
2	20	20,6	10,3	4,4	21,5
3	40	46,8	23,4	22,1	48,8
4	40	63,4	31,7	54,2	85,8
5	20	20,4	10,2	6,6	33,0
6	20	20,8	10,4	13,0	61,8
7	40	64,8	32,4	35,2	54,7
8	40	51,6	25,8	53,9	103,8
9	40	60,6	30,3	57,8	95,4

Nas Tabelas 12 e 13, estão apresentados os valores de irrigação real necessária (IRN), lâmina aplicada ( $L_{apl}$ ), lâmina média coletada ( $L_{m_{col}}$ ), lâmina armazenada na zona radicular ( $L_{arm}$ ), lâmina deficitária ( $L_{def}$ ) e lâmina percolada ( $L_{per}$ ).

**Tabela 12** - Irrigação real necessária (IRN), lâmina aplicada ( $L_{apl}$ ), lâmina média coletada ( $L_{mcol}$ ), lâmina armazenada na zona radicular ( $L_{arm}$ ), lâmina deficitária ( $L_{def}$ ) e lâmina percolada ( $L_{per}$ ), em valores médios nos projetos avaliados

Projeto	IRN	$L_{apl}$	$L_{mcol}$	$L_{arm}$	$L_{def}$	$L_{per}$
	----- mm -----					
1	13,05	12,65	12,44	8,75	4,30	3,61
2	4,40	9,23	8,98	4,40	0,00	4,58
3	22,10	35,09	34,16	17,99	4,10	15,66
4	54,15	25,08	24,46	24,46	29,69	0,00
5	6,61	31,48	30,26	6,61	0,00	23,65
6	13,02	14,16	13,73	8,38	4,64	7,14
7	35,16	32,52	31,42	21,32	13,84	14,25
8	53,94	20,77	20,05	20,05	33,88	0,00
9	57,81	24,74	24,38	24,38	33,43	0,00

**Tabela 13** - Irrigação real necessária (IRN), lâmina aplicada ( $L_{apl}$ ), lâmina média coletada ( $L_{m_{col}}$ ), lâmina armazenada na zona radicular ( $L_{arm}$ ), lâmina deficitária ( $L_{def}$ ) e lâmina percolada ( $L_{per}$ ), para o início, central e final, nos projetos avaliados

Projeto		IRN	$L_{apl}$	$L_{m_{col}}$	$L_{arm}$	$L_{def}$	$L_{per}$
		mm					
1	Início	13,05	15,00	14,84	9,73	3,32	4,03
	Centro	13,05	11,44	11,12	8,23	4,82	2,68
	Final	13,05	11,52	11,36	8,30	4,75	4,12
2	Início	4,40	9,20	8,72	4,40	0,00	4,32
	Centro	4,40	9,28	9,24	4,40	0,00	4,84
	Final	4,40	9,20	8,98	4,40	0,00	4,58
3	Início	22,10	39,04	36,88	18,11	3,98	17,41
	Centro	22,10	36,96	36,72	18,63	3,46	15,37
	Final	22,10	29,28	28,88	17,24	4,85	14,19
4	Início	54,15	24,06	23,04	23,04	31,11	0,00
	Centro	54,15	26,88	26,58	26,58	27,57	0,00
	Final	54,15	24,30	23,76	23,76	30,39	0,00
5	Início	6,61	29,96	29,82	6,61	0,00	23,21
	Centro	6,61	31,57	31,22	6,61	0,00	24,61
	Final	6,61	32,90	29,75	6,61	0,00	23,14
6	Início	13,02	13,35	13,20	7,39	5,63	7,23
	Centro	13,02	14,67	14,04	9,13	3,89	6,17
	Final	13,02	14,46	13,95	8,61	4,41	8,02
7	Início	35,16	36,54	33,96	23,19	11,97	13,16
	Centro	35,16	40,08	39,78	23,87	11,29	12,58
	Final	35,16	20,94	20,52	16,91	18,25	17,00
8	Início	53,94	25,45	24,50	24,50	29,44	0,00
	Centro	53,94	18,55	17,85	17,85	36,09	0,00
	Final	53,94	18,30	17,80	17,80	36,12	0,00
9	Início	57,81	28,98	28,62	28,62	29,19	0,00
	Centro	57,81	25,68	25,26	25,26	32,55	0,00
	Final	57,81	19,56	19,26	19,26	38,55	0,00

Os valores da IRN variam de 4,40 a 57,81 mm nos projetos avaliados. Os menores valores da IRN ocorreram nos projetos onde a  $U_a$  estava mais próxima da  $C_c$  e onde foi considerada a profundidade efetiva de 20 cm (projetos 2, 5 e 6) nas lavouras de

alguns meses após o plantio. Os maiores valores da IRN ocorreram nos projetos onde a  $U_a$  estava mais próxima do PMP (projetos 4, 8 e 9).

A lâmina de irrigação aplicada ( $L_{apl}$ ) apresenta valores diferentes dentro do mesmo projeto avaliado (início, centro e final) devido à variação de pressão de serviço, vazão, e espaçamento entre os aspersores no mesmo setor. No projeto 7 ocorre a maior diferença na lâmina aplicada, variando de 20,94 mm (final) a 40,08 mm (centro). A  $L_{apl}$  é maior que a lâmina real necessária (IRN) nos projetos 2, 3, 5 e 6, indicando a aplicação de água em excesso. Nos projetos 4, 8 e 9 a lâmina aplicada é inferior à lâmina real necessária, indicando que a irrigação foi deficitária.

A lâmina média coletada ( $L_{mcol}$ ) variou de 8,98 mm (projeto 2) a 34,16 mm (projeto 3), apresentando valores ligeiramente inferiores à  $L_{apl}$ .

A lâmina armazenada na zona radicular ( $L_{arm}$ ), apresenta valores de 4,40 mm (projeto 2) a 24,46 mm (projeto 4). Os menores valores de  $L_{arm}$  foram limitados pela baixa IRN no momento da aplicação.

Quanto à lâmina deficitária ( $L_{def}$ ), os projetos 4, 8 e 9 apresentam os maiores valores. Os projetos 2 e 5 apresentam 0 mm de  $L_{def}$ .

Nas Tabelas 14 e 15, estão apresentados os valores da porcentagem de área adequadamente irrigada ( $P_{ad}$ ), coeficiente de déficit ( $C_d$ ), perdas por percolação ( $P_{per}$ ), eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada ( $ED_{80}$ ) e eficiência de aplicação ( $E_a$ ) referentes ao desempenho atual dos sistemas de irrigação por aspersão convencional avaliado.

**Tabela 14** - Porcentagem de área adequadamente irrigada ( $P_{ad}$ ), coeficiente de déficit ( $C_d$ ), perdas por percolação ( $P_{per}$ ), eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada ( $ED_{80}$ ) e eficiência de aplicação ( $E_a$ ), em valores médios nos projetos avaliados

Projeto	Pad	Cd	$P_{per}$	$ED_{80}$	$E_a$
	----- % -----				
1	49,32	32,92	28,69	66,87	69,64
2	100,00	0,00	49,63	76,35	47,72
3	84,24	18,54	44,88	69,18	51,90
4	0,00	54,83	0,00	73,79	97,47
5	100,00	0,00	75,25	81,76	21,03
6	48,67	35,66	50,56	54,75	59,05
7	41,86	39,35	49,53	60,25	67,93
8	0,00	62,82	0,00	72,95	96,63
9	0,00	57,83	0,00	64,64	98,53

**Tabela 15** - Porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), coeficiente de déficit (Cd), perdas por percolação ( $P_{per}$ ), eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada ( $ED_{80}$ ) e eficiência de aplicação (Ea), para o início, centro e final, nos projetos avaliados

Projeto		Pad	Cd	$P_{per}$	$ED_{80}$	Ea
		----- % -----				
1	Início	72,59	25,44	26,87	74,50	64,88
	Centro	39,54	36,93	23,43	65,08	71,96
	Final	35,84	36,39	35,76	61,04	72,07
2	Início	100,00	0,00	46,96	77,36	47,86
	Centro	100,00	0,00	52,16	75,51	47,45
	Final	100,00	0,00	49,78	76,17	47,86
3	Início	90,15	18,01	44,60	64,68	46,40
	Centro	96,72	15,66	41,59	80,21	50,42
	Final	65,86	21,95	48,46	62,66	58,89
4	Início	0,00	57,45	0,00	71,80	95,75
	Centro	0,00	50,92	0,00	77,21	98,88
	Final	0,00	56,12	0,00	72,36	97,77
5	Início	100,00	0,00	77,47	80,48	22,06
	Centro	100,00	0,00	77,95	84,09	20,93
	Final	100,00	0,00	70,33	80,72	20,09
6	Início	48,25	43,24	54,16	48,74	55,36
	Centro	52,31	29,88	42,06	62,08	62,24
	Final	45,44	33,87	55,46	53,44	59,55
7	Início	43,83	34,04	36,02	61,64	63,47
	Centro	69,28	32,11	31,39	71,30	59,56
	Final	12,48	51,90	81,18	47,82	80,76
8	Início	0,00	54,58	0,00	80,70	96,27
	Centro	0,00	66,91	0,00	76,13	96,23
	Final	0,00	66,96	0,00	62,03	97,38
9	Início	0,00	50,49	0,00	65,77	98,76
	Centro	0,00	56,31	0,00	55,53	98,36
	Final	0,00	66,68	0,00	72,61	98,47

Em decorrência de lâminas deficitárias, as porcentagens de área adequadamente irrigadas são de 0% (projetos 4, 8 e 9). Nos projetos 2 e 5, a Pad é de 100%, com altas perdas por percolação. Nos projetos 1, 3, 6 e 7, a Pad média das áreas dos setores avaliados é de 49%, 84%, 49% e 42%, respectivamente. Os projetos

avaliados apresentam descontrole em relação ao uso da água, uma vez que a  $P_{ad}$  ideal para a cultura, conforme a literatura, é de 80%.

O coeficiente de déficit ( $C_d$ ) é de 0% nos projetos 2 e 5. Nos projetos restantes a lâmina aplicada não atendeu a demanda, ocasionando um  $C_d$  que variou entre 15,66% e 66,96%. O projeto 8 apresenta os maiores índices de  $C_d$  (54,58%, 66,91% e 66,96%).

O projeto 5 apresenta as maiores perdas por percolação ( $P_{per}$ ) em todos os setores avaliados (77,47%, 77,95% e 70,33%), devido à irrigação excessiva. O projeto 7 (final) é a área com maior  $P_{per}$  (81,18%). Os projetos 4, 8 e 9 a  $P_{per}$  é de 0%. Os projetos 1, 2, 3, 5, 6 e 7 apresentam perdas por percolação superiores a 20%, o que corrobora com os resultados obtidos por Martins et al. (2011).

Quanto à eficiência de distribuição estimada para 80% da área adequadamente irrigada ( $Ed_{80}$ ), verifica-se que o projeto 5 apresenta os maiores valores (80,48%, 84,09% e 80,72%).

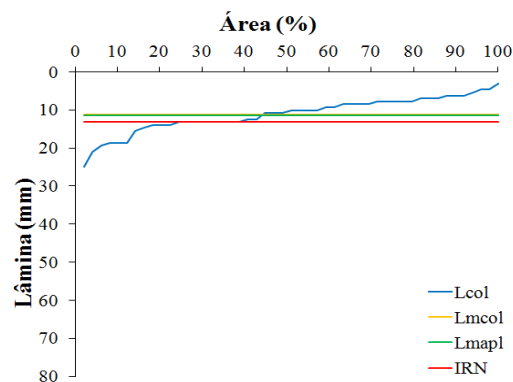
No que se refere à eficiência de aplicação de água ( $E_a$ ), observa-se que o projeto 9 apresenta o maior valor (98,53%).

Na figura 9, observam-se os resultados obtidos nas avaliações dos projetos, indicando que os sistemas de aspersão fixa apresentam baixa eficiência, com lâminas inadequadas ou aplicadas de modo desuniforme no terreno, podendo comprometer os resultados dos investimentos.

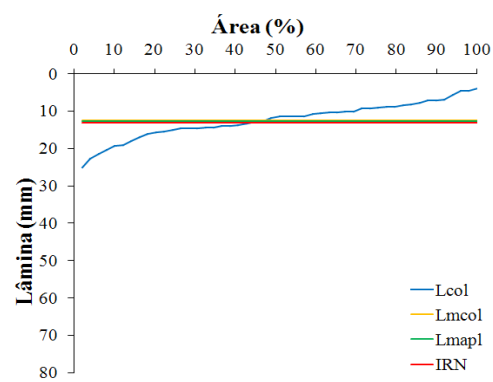


## Projeto 1

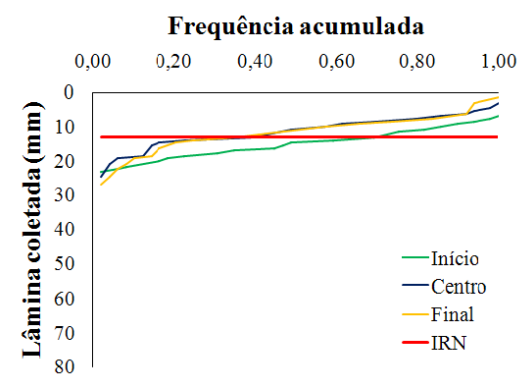
Centro do Setor



Média: Início, Centro e Final

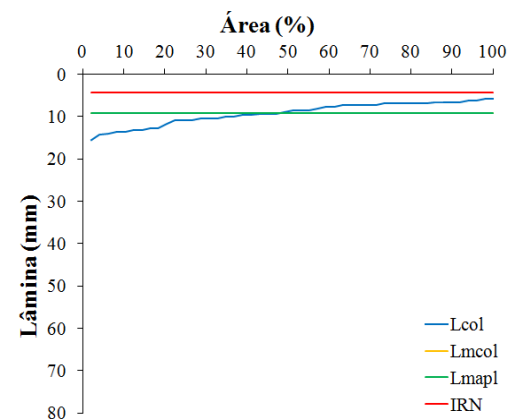


Lcol: Início, Centro e Final

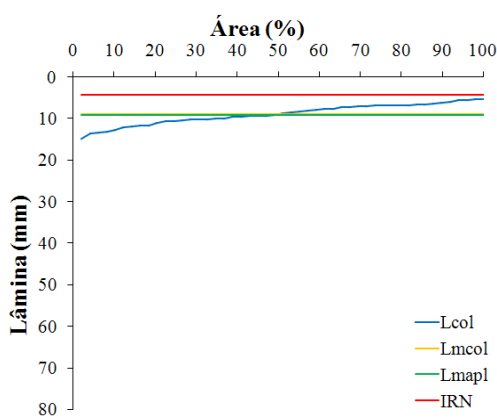


## Projeto 2

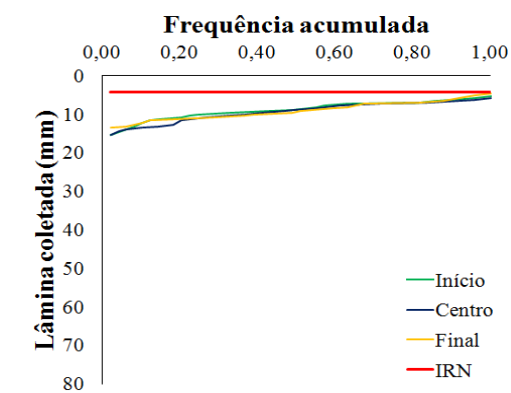
Centro do Setor



Média: Início, Centro e Final



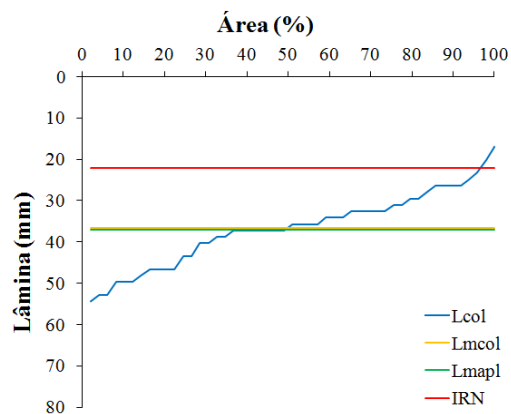
Lcol: Início, Centro e Final



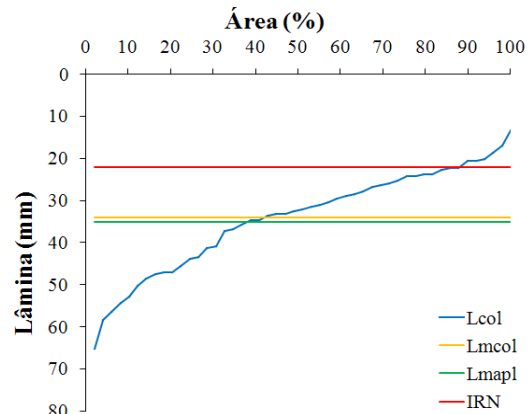
**Figura 9** – Gráfico representativo da lâmina coletada (Lcol), lâmina média coletada (Lcol), lâmina média aplicada (Lmapl), irrigação real necessária (IRN), no centro do setor, a média (Início, Centro e Final) e a lâmina coletada (Lcol) no início, centro e final do setor, em função da área irrigada.

Projeto 3

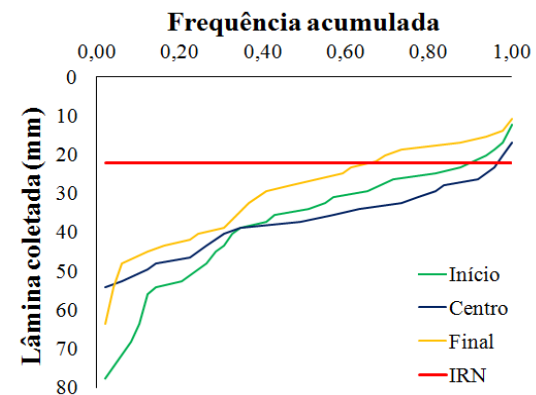
Centro do Setor



Média: Início, Centro e Final

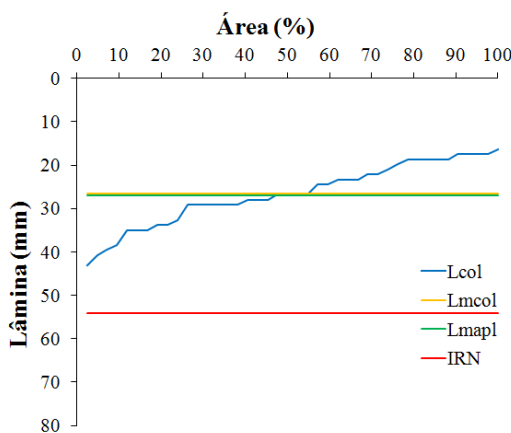


Lcol: Início, Centro e Final

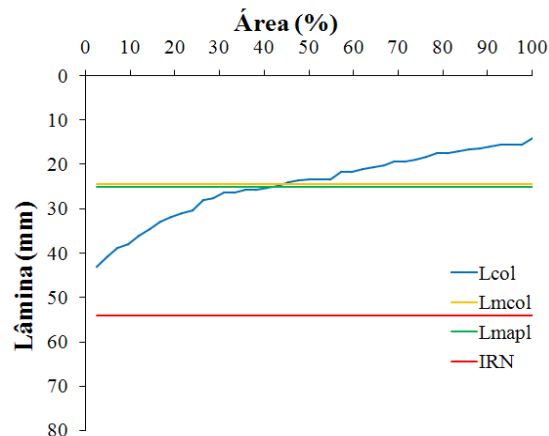


Projeto 4

Centro do Setor



Média: Início, Centro e Final



Lcol: Início, Centro e Final

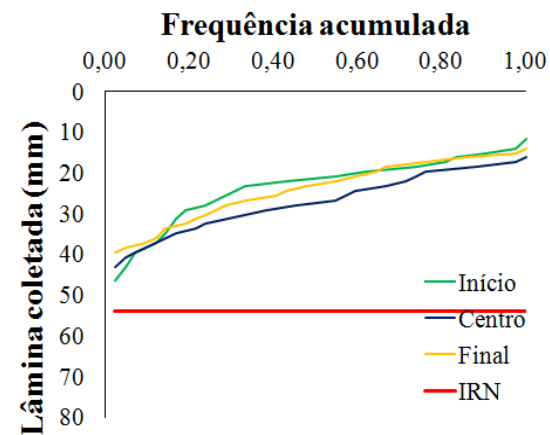
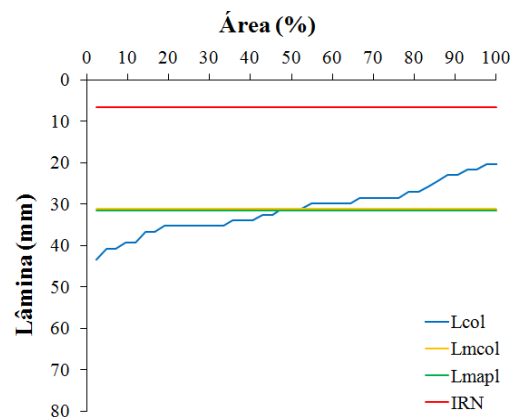


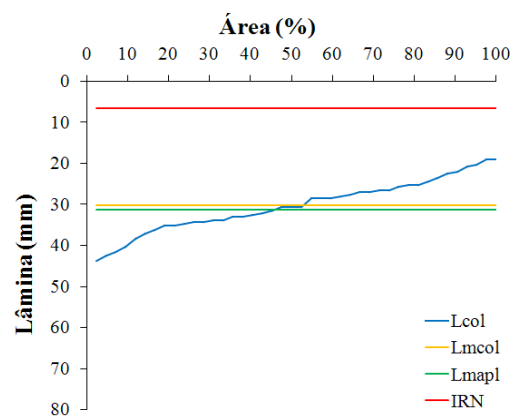
Figura 9 – Continuação

## Projeto 5

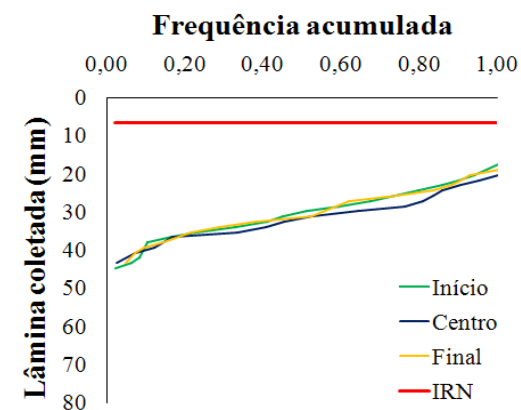
Centro do Setor



Média: Início, Centro e Final

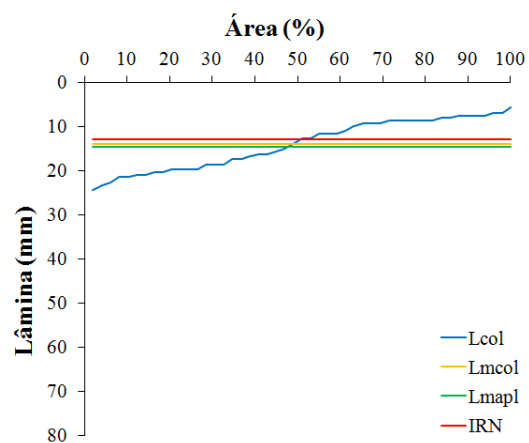


Lcol: Início, Centro e Final

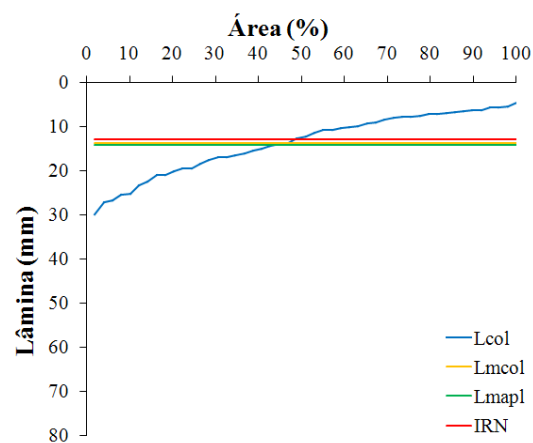


## Projeto 6

Centro do Setor



Média: Início, Centro e Final



Lcol: Início, Centro e Final

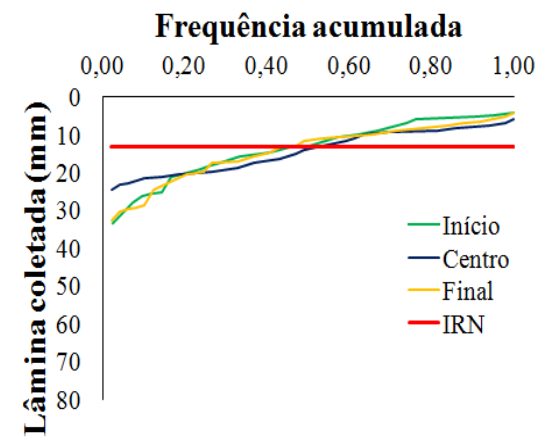
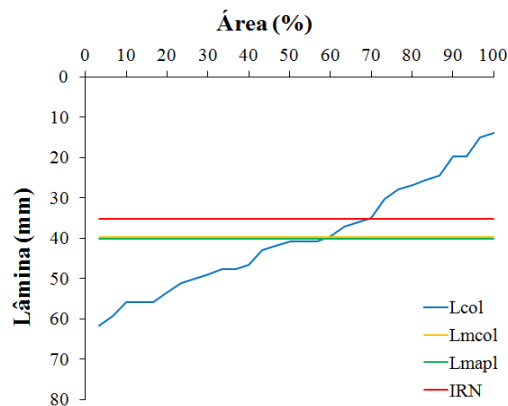


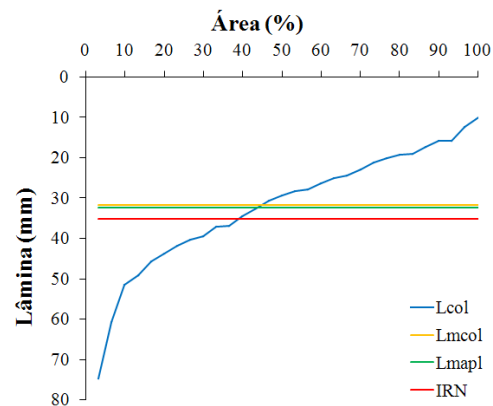
Figura 9 – Continuação

Projeto 7

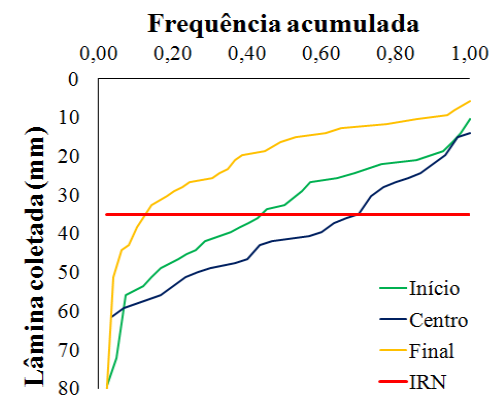
Centro do Setor



Média: Início, Centro e Final

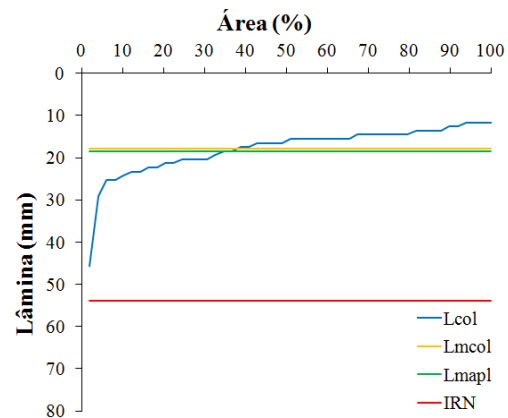


Lcol: Início, Centro e Final

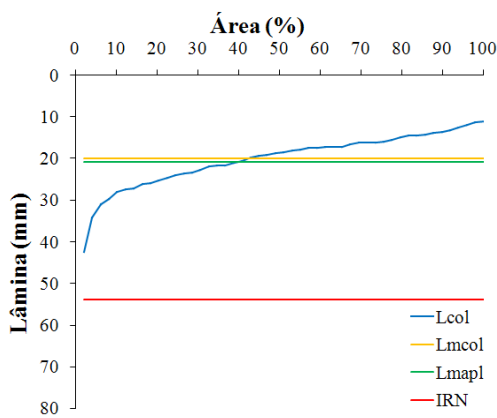


Projeto 8

Centro do Setor



Média: Início, Centro e Final



Lcol: Início, Centro e Final

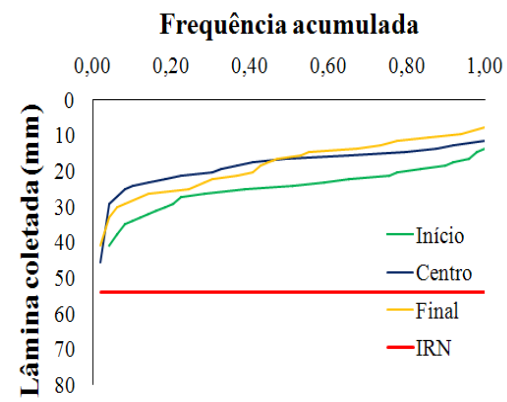


Figura 9 – Continuação

## Projeto 9

Centro do Setor

Média: Início, Centro e Final

Lcol: Início, Centro e Final

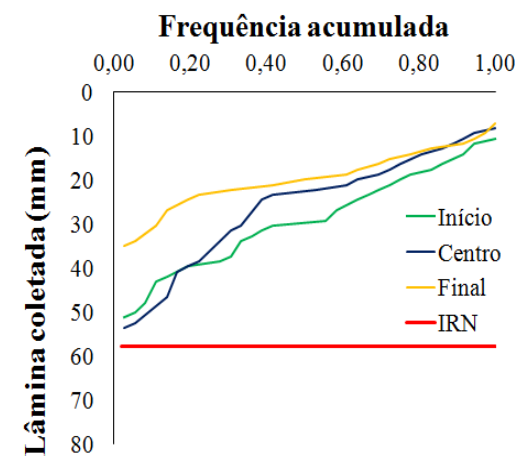
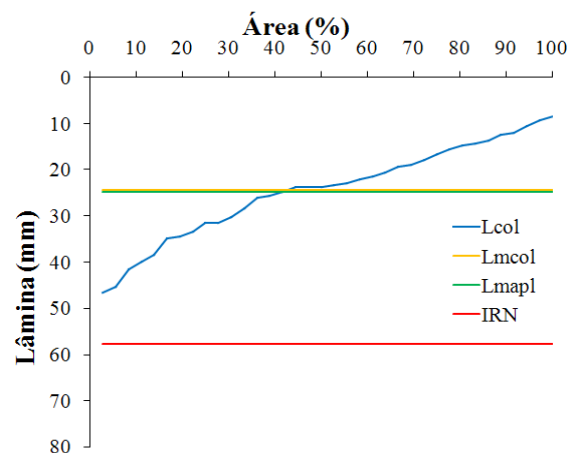
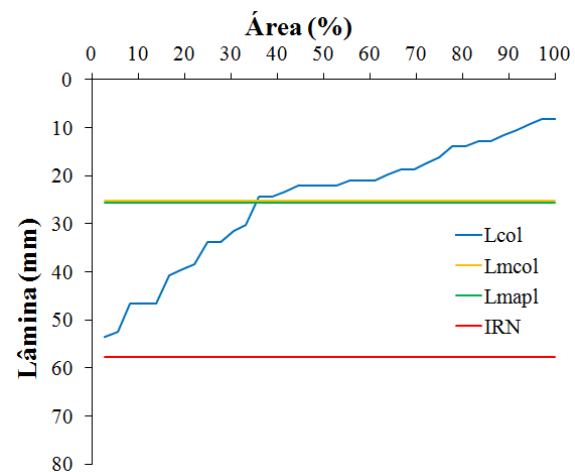


Figura 9 – Continuação

## 2.5 CONCLUSÕES

- Os projetos de aspersão avaliados apresentam baixa uniformidade de distribuição de água, sendo que 83,3% dos projetos com laterais em declive e 100,0% dos projetos com laterais em nível apresentam CUC abaixo de 80%.
- A variação de pressão e vazão dos aspersores foi adequada em 33,3% dos projetos com laterais em declive e foi inadequada para todos os projetos com linha lateral em nível.
- Em 55,5% dos projetos avaliados, as irrigações foram iniciadas com déficit de água no solo acima do limite recomendado de disponibilidade de 50%.
- A porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad) variou de 0% a 100%, o que demonstra descontrole em relação ao uso da água.
- A lâmina percolada variou entre 2,68 e 24,61 mm, ocorrendo em 66,67% dos projetos avaliados.

## 2.6 RECOMENDAÇÕES

Para melhoria dos índices de uniformidade e uso racional da água são sugeridas as seguintes recomendações:

- Capacitação dos produtores e técnicos nos aspectos de dimensionamento e gestão da irrigação.
- Incluir a avaliação do desempenho da irrigação nos programas de assistência técnica e extensão rural nos municípios.
- Realizar estudos quanto à possibilidade de inclusão da avaliação do desempenho da irrigação como requisito básico nestes casos:
  - Elaboração de projetos de irrigação financiados;
  - No processo de outorga do uso da água;
  - Na instalação dos equipamentos de dupla tarifação de energia elétrica;
  - No acionamento do Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) para irrigação nos períodos de escassez de água.

## 2.7 REFERÊNCIAS

ALENCAR, C. A. B. de.; CUNHA, F. F. da.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A.; PIZZILOLO, T. de A.; OLIVEIRA, R. A. de. Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por miniaspersão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.15, n.2, p.109-118, 2007.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 5 ed. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária. 2005. 596p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 7 ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 611p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8 ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625p.

BONOMO, R.; BONOMO, D. Z.; SECUNDINO, M. V.; PEZZOPANE, J. R. M. Uniformidade de irrigação por aspersão fixa em café conilon no norte capixaba. In: XVIII CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2008, São Mateus. **Anais de Trabalhos Completos (CD-ROM)**. São Mateus: ABID, 2008, n. 1588.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1999. 224p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UFV, 1999.

BURT, C.M.; CLEMMESNS, A.J.; STRELKOFF, T.S.; SOLOMON, K.H.; BLIESNER, R.D.; HARDY, L.A.; HOWELL, T.A. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n. 6, p. 423-442, 1997.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124p.

CORDEIRO, E. A. **Diagnóstico e manejo da irrigação na cultura do mamoeiro na região norte do Estado do Espírito Santo**. 2006. 100p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2006.



COSTA, M. B. da. **Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (*Coffea canephora* L.) e na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no município de Pinheiros-ES.** 2006. 89p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHOCKLEY, D. G. **Methods for evaluating irrigation systems.** Washinhton DC: Soil Conservation Service – USDA, 1956. 24p.

DADALTO, G.G.; BARBOSA, C. A. **Zoneamento agroecológico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo.** Vitória: SEAF-ES, 1997. 28p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS, 1997. 212p.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do Café.** 2º Ed. Uberaba-MG, 2008. 476p.

FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S. Irrigação do cafeeiro Conilon *In*: FERRÃO, R. G. et al. **Café Conilon.** Vitória, ES: Incaper, 2007. Cap. 1, p. 35-49.

FREITAS, P. S. S. **Uniformidade de aplicação de água, produtividade da cultura do milho e efeito da presença de diferentes resíduos de cultura na evaporação de água do solo.** 2000. 189 p. Tese (Doctor Scientiae), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2000.

HART, W. E., PERI, G., SKOGERBOE, G. B. Irrigation performance: an evaluation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 105, n. IR3, p. 275-288, 1979.

LANI, J. L. **Estratificação de ambientes na Bacia do Rio Itapemirim, no sul do Estado do Espírito Santo.** 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Viçosa, UFV. 1987.

LOPES, A. S.; PAVANI, L. C.; CORÁ, J. E.; ZANINI, J. R.; MIRANDA, H. A. Manejo da Irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p. 89-100, 2004

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 1. 318p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3. ed., atual. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355p.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA**: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV. 2001.

MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A., Manejo de Irrigação In: MANTOVANI, E. C.; Costa, L. C. (Org). Workshop Internacional sobre manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos, Brasília, 1988. 49-76p.

MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. R. **Irrigação do cafeeiro**: informações técnicas e coletânea de trabalhos. Viçosa, MG: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 2003. 260p. (Engenharia na Agricultura – Boletim Técnico, 8).

MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R.; GARCIA, G. O. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (*Zea mays* L.), **Idesia**, v.29, n.3, pp 65-74, 2011.

OLIVEIRA, F. G.; FIGUEIREDO, F. P. Influência do espaçamento entre aspersores e do uso de válvulas reguladoras de pressão na uniformidade de irrigação por aspersão convencional. **Revista Ceres**, v. 56, n. 316, p. 506-510, 2007.

OLIVEIRA H. F. E. de; COLOMBO, A.; FARIA L. C. Modelagem dos efeitos do vento sobre as dimensões do alcance do jato de um canhão hidráulico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 818-824, 2009.

ORTEGA, J. F. A.; TARJUELO, J. M. M.; JUAN, J. A. V. de; CARRION, P. P. Uniformity distribution and its economic effect on irrigation management in semiarid zones. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.130, n.4, p.257-347, 2004.

PAZ, V. P. DA S.; TEODORO, R. E. F; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

PEREIRA, L. S.; OWEIS, T., ZAIRI, A. **Irrigation management under water scarcity**. Agricultural Water Management. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 2002. p. 175-206.

PAULINO, M. A. DE O.; FIGUEIREDO, F. P. DE; FERNANDES, R. C.; MAIA, J. T. L. C.; GUILHERME, D. de O.; BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 3, p. 48-54, 2009.

PEZZOPANE, J. R. M.; CASTRO, F.S.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 341-348, 2010.

REICHARDT, K. Capacidade de Campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12:211-216, 1988.

REZENDE, R; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L.; FRIZZONE, J. A.; TOMENA, C. A.; BERTONHA, A. Influência da aplicação de água na uniformidade da umidade no perfil do solo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1553-1559, 2002.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do Café**. 2º Ed. Uberaba: O Lutador, 2008. 476p.

SANTOS, A. R. **Zoneamento agroclimatológico para a cultura do café conilon (*Coffea canephora* L.) e arábica (*Coffea arabica* L.), na bacia do Rio Itapemirim, ES**. 1999, 62p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Viçosa, UFV. 1999.

SELBORNE, L. **A ética do uso da água doce: um levantamento**. Brasília: UNESCO, 2001. 80p.

SILVA, J. G. F.; REIS, E. F. Irrigação do cafeeiro Conilon *In*: FERRÃO, R. G. et al. **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. Cap. 13, p. 347-373.

SOUZA, M. B. A de; MANTOVANI, E. C.; SILVA, J. G. F. da; VICENTE, M. R. VIEIRA, G. H. S.; SOARES, A. A. Manejo da irrigação na cafeicultura irrigada por pivô central nas regiões norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia. **Bioscience Journal**. v. 27, n.4, p.581-590, 2011.

SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A.; RASSINI, J. B. **Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de microondas doméstico.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 9 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 33).

VICENTE, M. R. **Manejo e análise técnica dos sistemas de irrigação do cafeeiro na região oeste da Bahia.** 2005. 70p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2005.

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. **Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers.** Scientific Agriculture, v.27, n.11, p.565-583, 1947.

## 3 CAPÍTULO 2

### DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA EM CAFEICULTURA DE MONTANHA

#### RESUMO

Objetivou-se, com a realização deste trabalho, diagnosticar e avaliar o desempenho de sistemas de irrigação localizada utilizados em lavouras de café conilon no sul do Estado do Espírito Santo. Foram escolhidos aleatoriamente, cinco projetos de irrigação localizada, sendo um de gotejamento e quatro de *microspray*. Em cada projeto, selecionaram-se quatro linhas laterais e, em cada uma destas foram selecionados oito emissores (o primeiro emissor, o situado a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7 e 6/7 do comprimento da linha lateral e o último emissor). Os coeficientes de uniformidade determinados foram: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de Uniformidade de Emissão (CUE). Para avaliação da irrigação, foram retiradas amostras de solos antes da irrigação, nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade, para determinação da umidade atual no solo. Com base nos resultados, conclui-se que: em 60% dos projetos de irrigação localizada avaliados, o CUC é inferior ao valor recomendado para sistemas de irrigação localizada, que é de 90%; a lâmina aplicada no período avaliado é superior à irrigação real necessária à cultura, em todos os projetos; em 80% dos projetos avaliados, os valores de perdas por percolação profunda são superiores a 60%; e a média da eficiência de aplicação de água (Ea) é de 82,64%.

Palavras-chave: Irrigação Localizada. Uniformidade de Aplicação de Água. Manejo de Irrigação.

## 3 CHAPTER 2

### PERFORMANCE OF IRRIGATION SYSTEMS LOCATED IN MOUNTAIN COFFEE

#### ABSTRACT

The objective of this work was diagnose and evaluate the performance of trickle irrigation systems used in conilon coffee plantations in southern state of Espírito Santo. Five projects for irrigation were randomly selected, being a drip and four Microspray. In each design was selected four side lines, and each of these were selected eight emitters (the first transmitter, located  $1/7$ ,  $2/7$ ,  $3/7$ ,  $4/7$ ,  $5/7$  and  $6/7$  of the length of the lateral line and the last emitter). The uniformity coefficients were determined: Christiansen Uniformity Coefficient (CUC) and Emission Uniformity Coefficient (CUE). For evaluation of irrigation, soil samples were taken before irrigation, the layers 0-20 cm and 20-40 cm depth, to determine the moisture present in the soil. Based on the results, it is concluded that: 60% of evaluated projects of irrigation, the CUC is below the recommended value for trickle irrigation systems, which is 90%; blade applied during the evaluation period is higher than the actual irrigation necessary to culture in all designs; 80% projects evaluated values deep percolation losses are greater than 60%; and the average efficiency of water application ( $E_a$ ) is 82.64%.

Key words: Localized Irrigation. Uniformity of Water Application. Management of Irrigation.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A água se faz presente nas mais diversas atividades humanas, sendo a agricultura irrigada aquela que utiliza o maior volume do referido recurso natural, ou seja, cerca de 70% de toda água doce captada mundialmente (ITABORAHY et al., 2004). Com a crescente escassez de recursos hídricos, devido ao acréscimo da demanda de outros setores, a agricultura irrigada sofre pressão para reduzir o consumo de água.

Em várias regiões do Brasil, a expansão da área irrigada é limitada pela quantidade de água disponível para irrigação. Na busca de soluções para o problema, o Brasil aprovou a cobrança pelo uso da água. A intenção é que os irrigantes priorizem a utilização precisa da água a ser aplicada. Por isso, busca-se a adoção de soluções técnicas, como o aumento de eficiência da aplicação e a escolha de sistemas de irrigação mais eficientes na utilização da água.

A escolha do método de irrigação a ser usado em cada área deve ser baseada na viabilidade técnica, econômica e ambiental do projeto e nos seus benefícios sociais. Essa escolha deve ser feita conforme fatores de topografia, tipo de solo, quantidade e qualidade da água, clima da região e tipo de cultura a ser irrigada (BERNARDO et al., 2006).

No sistema de irrigação localizada, a água é aplicada diretamente na região radicular em pequenas intensidades (baixa vazão) e alta frequência (turno de rega pequeno), mantendo o solo sempre próximo à capacidade de campo (MANTOVANI et al., 2009).

Segundo Ribeiro et al. (2005), o uso da irrigação localizada vem crescendo cada vez mais devido ao avanço tecnológico na agricultura irrigada que procura, sempre, métodos de irrigação que apresentem grande eficiência aliada à redução nos custos de produção, consumo de energia e economia de água.

Embora o sistema de irrigação localizada apresente como uma das principais vantagens a excelente uniformidade de aplicação de água, o entupimento dos emissores é o maior problema enfrentado por este sistema, o que provoca variação de vazão dentro do sistema, pois mesmo uma pequena porcentagem de emissores entupidos pode resultar em grande redução na uniformidade de aplicação de água e, como consequência, em danos às plantas (NAKAYAMA & BUCKS, 1981).

Essas dificuldades têm provocado a resistência, por parte dos irrigantes do sul do Espírito Santo, a sistemas localizados, pois as águas dos mananciais da região apresentam elevados níveis de ferro, matéria orgânica e sólidos em suspensão. Muitos sistemas de irrigação são instalados sem projetos elaborados por profissionais capacitados, utilizando equipamentos com deficiências de instalação e o manejo da irrigação sem critério técnico.

Para um projeto de irrigação localizada, inicialmente, recomenda-se a análise da água, o que pode prevenir problemas de obstruções que porventura possam ocorrer, sendo, na maioria dos casos, menos dispendioso fazer um pré-tratamento da água do que desobstruir os emissores. Para os sistemas em funcionamento, a adoção de determinadas medidas, como a avaliação do sistema no campo, contribui para atenuar os problemas de entupimento dos emissores. Segundo Bernardo (1995), na irrigação localizada é recomendável a determinação da uniformidade de distribuição de água, após a instalação do sistema e a cada dois anos de funcionamento.

A uniformidade de distribuição também é um parâmetro que irá afetar diretamente a lâmina bruta de irrigação, pois esta é parte da eficiência de irrigação. Assim, quanto maior a uniformidade, menor será a lâmina necessária para se atingir a mesma produtividade (MANTOVANI et al., 2009).

Nos sistemas de irrigação localizada, a uniformidade de aplicação de água pode ser expressa por meio de vários coeficientes, destacando-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Emissão (CUE). O coeficiente de uniformidade de emissão é o mais utilizado para avaliar o desempenho de sistemas de irrigação localizada, porque leva em consideração as plantas que podem receber menor quantidade de água.

Segundo Mantovani et al. (2009), a avaliação do desempenho de sistemas de irrigação localizada tem o mesmo princípio da avaliação de outros sistemas. Consiste na coleta de vazões e/ou lâminas aplicadas e as efetivamente utilizadas pelas plantas.

Atualmente, a avaliação dos sistemas é uma prática pouco conhecida pelos irrigantes e a maioria dos profissionais que assistem aos irrigantes da região Sul do Estado do Espírito Santo não a utiliza. Mantovani et al. (2009) questionam até quando os sistemas de irrigação cada vez mais modernos e precisos serão



manejados por usuários que não sabem ao certo a quantidade de água a aplicar e o tempo de irrigação.

Considerando-se o exposto, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar o desempenho de sistemas de irrigação localizada empregados na cafeicultura irrigada nas regiões produtoras do sul do Estado do Espírito Santo para verificar a eficiência da irrigação.

## 3.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 3.2.1 Avaliação de sistemas de irrigação localizada

A avaliação de um sistema de irrigação localizada tem o mesmo princípio da avaliação de outros sistemas. Consiste na coleta de vazões ou lâminas aplicadas e as lâminas que são realmente utilizadas pelas plantas, para a determinação do desempenho dos sistemas de irrigação através da determinação da uniformidade de aplicação de água.

Segundo Pizarro Cabello (1990), para se avaliar a uniformidade de distribuição de água em sistemas localizados, determina-se, inicialmente, o número de gotejadores a ser estudado. A escolha da metodologia é em função das características da área de estudo onde pesam as condições do setor a ser estudado, a presença de mão-de-obra, dentre outros fatores.

A metodologia proposta por Keller & Karmeli (1975) consiste na coleta de dados (vazões) em quatro emissores ao longo da linha lateral, da seguinte forma: o primeiro gotejador; o segundo situado a 1/3; o terceiro a 2/3 do comprimento da linha; e o último gotejador.

Denículi et al. (1980) indicam a utilização de oito emissores em quatro linhas laterais, visando melhorar a representatividade dos pontos amostrados. A justificativa para a sua utilização é de que, embora a proposta seja simples, quando se trata de linhas laterais maiores, o método perde a representatividade.

Vieira et al. (2003) realizaram estudo comparativo da avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento utilizando os métodos propostos por Keller & Karmeli (1975) e Denículi et al. (1980). Os resultados obtidos permitem recomendar a utilização de 32 pontos (método de Denículi et al., 1980) como forma de assegurar resultados mais representativos da uniformidade de distribuição de água.

### **3.2.2 Uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação localizada**

A uniformidade de distribuição expressa o grau de uniformização das lâminas de irrigação, indicando como a água está sendo distribuída na lavoura e se as plantas estão recebendo quantidades equivalentes de água. Influencia diretamente o manejo, a eficiência e o custo da irrigação, assim como afeta a qualidade e produtividade da cultura. Santos et al. (2003) afirmam que uma baixa uniformidade de distribuição de água faz com que determinadas plantas fertirrigadas pelo sistema recebam mais água e adubo do que outras, resultando em um desenvolvimento desuniforme dentro do cultivo de uma determinada cultura.

De acordo com Mantovani et al., (2009), a uniformidade da aplicação de água é um dos parâmetros básicos para o manejo da irrigação. Sua importância aumenta quando se usa a quimigação. É fundamental para o diagnóstico da situação de funcionamento do sistema, sendo, inclusive, um dos componentes para determinação do nível de eficiência no qual o sistema trabalha e pelo qual a lâmina aplicada deverá ser corrigida para fornecer água de modo a permitir o pleno desenvolvimento da cultura.

Para representar numericamente a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação existem alguns coeficientes de uniformidade, destacando-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Emissão (CUE) (Bernardo et al., 2006).

A análise conjunta desses coeficientes de uniformidade é essencial para avaliar o desempenho de sistemas de irrigação.

### **3.2.3 Fatores que afetam a uniformidade de irrigação em sistemas de irrigação localizada**

Um baixo valor de uniformidade pode ser em função de diferentes causas, que, para efeito de avaliação, podem ser agrupadas, de acordo com Pizarro Cabelo (1990), em duas classes: causas hidráulicas e baixa uniformidade de vazão dos emissores.

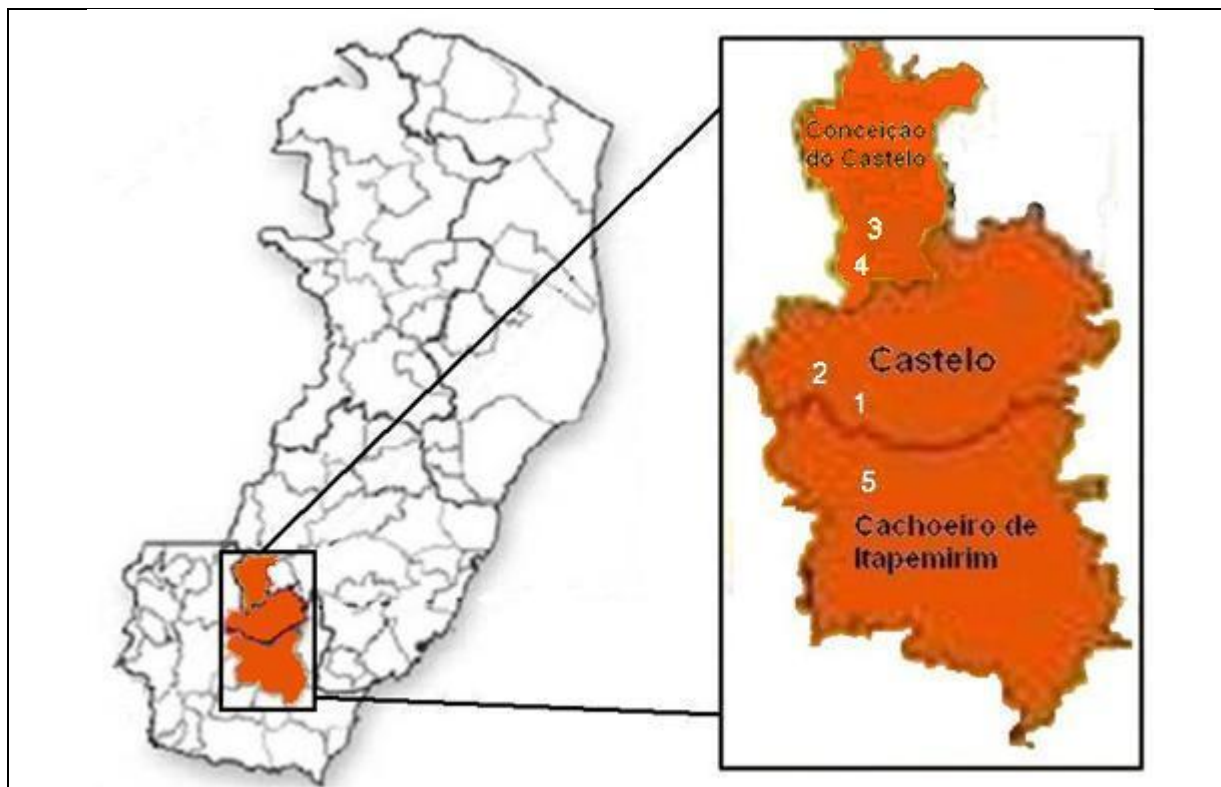
As causas hidráulicas são todas as que afetam a pressão de funcionamento dos emissores e podem consistir de um projeto inadequado, topografia do terreno, falta de reguladores de pressão, desajustes destes, etc. A baixa uniformidade de vazão dos emissores é devida ao entupimento ou a um inadequado coeficiente de uniformidade de fabricação.

Wu & Gitlin (1983) afirmam que a uniformidade de aplicação de água em um sistema de irrigação por gotejamento depende principalmente da variação da vazão ao longo da linha lateral, afetada principalmente pelo dimensionamento hidráulico do sistema, pelo coeficiente de variação de fabricação dos gotejadores, pela temperatura e pelo entupimento dos gotejadores.

Vários autores afirmam que um dos problemas sérios encontrados na utilização de sistemas de irrigação por gotejamento, que afeta sobremaneira a uniformidade de aplicação de água, é o entupimento dos gotejadores, sendo uma das causas principais de entupimento a presença de partículas minerais e orgânicas na água de irrigação (Merriam & Keller, 1978; Keller & Bliesner, 1990; Heermann et al., 1992).

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em cinco propriedades produtoras de café conilon, com sistema de irrigação localizada, tendo como área de abrangência a região sul do Estado do Espírito Santo, municípios de Castelo, Conceição do Castelo e Cachoeiro de Itapemirim, no período de abril a outubro de 2012 (Figura 10). A seleção dos projetos e sua localização foram baseadas em levantamentos realizados na região por técnicos do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER, sendo avaliados cinco projetos de irrigação localizada, sendo um projeto de irrigação por gotejamento e quatro de irrigação por *microspray*.



**Figura 10** – Localização dos projetos de irrigação localizada avaliados nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim, Castelo e Conceição do Castelo.

Na Tabela 16, estão apresentados os projetos, a área irrigada, tempo de instalação do sistema e idade da cultura do cafeeiro dos projetos de irrigação localizada avaliados no sul do Estado do Espírito Santo.

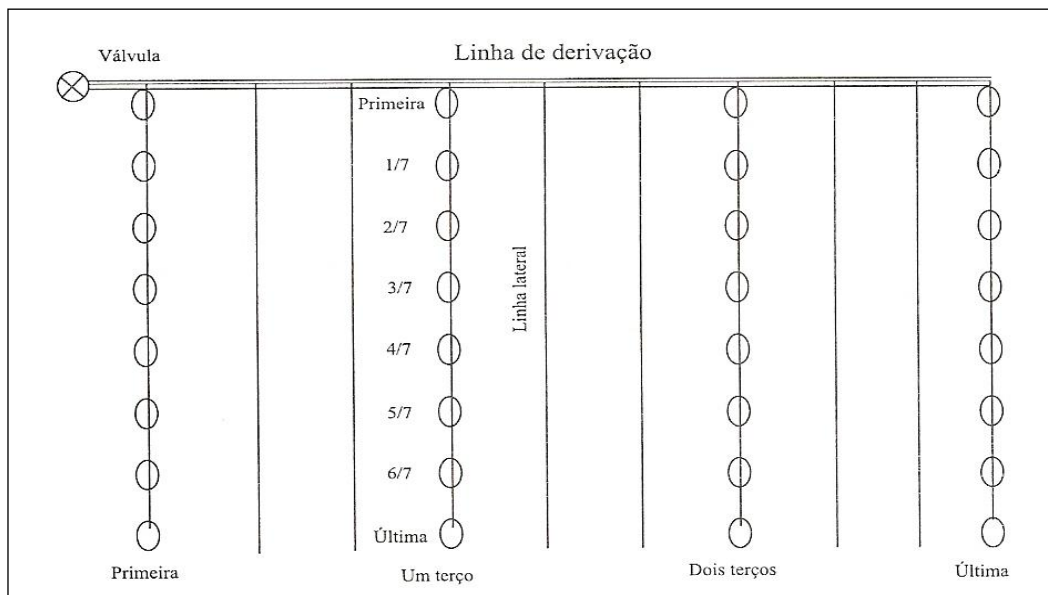
**Tabela 16** – Projeto, área irrigada, declividade, tempo de instalação do sistema e idade da cultura do cafeeiro dos projetos de irrigação localizada avaliados

Projeto	Área Irrigada (ha)	Declividade (%)	Idade	
			Sistema	Cultura
1 - Gotejamento	2,4	4,4	2 anos	2 anos
2 - <i>Microspray</i>	4,0	26,8	13 anos	13 anos
3 - <i>Microspray</i>	3,8	23,1	9 anos	9 anos
4 - <i>Microspray</i>	0,5	15,8	7 anos	7 anos
5 - <i>Microspray</i>	2,9	24,9	5 anos	5 anos

Em cada projeto, mediu-se a vazão real dos emissores de acordo com a metodologia de Keller & Karmeli (1975), com modificação proposta por Denículi et al.

(1980) e apresentada por Mantovani et al. (2009), para avaliar a uniformidade de aplicação de água do projeto de irrigação localizada.

Nessa metodologia, propõe-se a avaliação de maior número de pontos (plantas) ao longo da linha. Dessa forma, essa metodologia consiste na coleta de dados de oito emissores em quatro linhas laterais, ou seja, a primeira linha lateral, a situada a  $1/3$  da origem, a situada a  $2/3$  e a última linha lateral. Em cada uma das linhas laterais, são selecionados oito emissores, utilizando a seguinte proporção: primeiro emissor; o emissor situado a  $1/7$ ,  $2/7$ ,  $3/7$ ,  $4/7$ ,  $5/7$  e  $6/7$  do comprimento da linha lateral; e o último emissor (Figura 11).



**Figura 11** - Esquema dos pontos de coleta segundo a metodologia proposta por Denículi et al. (1980).

Os sistemas de irrigação foram ligados e aguardaram-se aproximadamente 15 minutos para estabilização da pressão. Com auxílio de um cronômetro e coletores, a vazão real dos emissores foi medida e com um manômetro mediu-se a pressão de serviço no final da linha (Figura 12).



**Figura 12** – Detalhe da coleta das vazões e da pressão de serviço no final da linha no projeto de irrigação localizada.

Posteriormente, realizou-se o teste de uniformidade de aplicação de água, utilizando os dados de cada projeto, para a determinação dos coeficientes de uniformidade mais usuais: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de Uniformidade de Emissão (CUE), determinados pelas Eq. 11 e 12, respectivamente.

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) é estimado utilizando-se a seguinte equação:

$$CUC = \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n q_m} \right\} 100 \quad (\text{eq. 14})$$

em que:

$q_i$  = vazão de cada emissor,  $L h^{-1}$ ;

$q_m$  = vazão média dos emissores,  $L h^{-1}$ ;

$n$  = número de emissores.

O coeficiente de uniformidade de emissão (CUE) é estimado utilizando-se a seguinte equação:

$$CUE = \frac{q_{25\%}}{q_m} 100 \quad (\text{eq. 15})$$

em que:

$q_{25\%}$  = média de 25% dos menores valores de vazões observadas,  $L h^{-1}$ ;

$q_m$  = média de todas as vazões coletadas,  $L h^{-1}$ .

A interpretação dos valores dos coeficientes de uniformidade (CUC e CUE) baseou-se na metodologia proposta por Mantovani (2001) que está apresentada na Tabela 17.

**Tabela 17** - Classificação dos valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de Uniformidade de Emissão (CUE)

<b>Classificação</b>	<b>CUC (%)</b>	<b>CUE (%)</b>
Excelente	$\geq 90$	$\geq 84$
Bom	80  — 90	68  — 84
Razoável	70  — 80	52  — 68
Ruim	60  — 70	36  — 52
Inaceitável	$< 60$	$< 36$

Nas áreas irrigadas, foram retiradas amostras de solo para a determinação das características físico-hídricas dos solos onde estão instalados os projetos de irrigação localizada avaliados.

Coletou-se amostra de solo próximo às plantas, a aproximadamente 15 cm do emissor, nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, para a determinação da densidade do solo pelo método da proveta e da retenção de água no solo, com o auxílio do extrator de Richards, nas tensões: 6, 10, 33, 80, 100, 300, 800 e 1500 kPa, de acordo com a EMBRAPA (1997)

Para determinação da umidade atual em cada projeto, a amostragem de solo foi realizada antes da irrigação, com amostras compostas coletadas, de acordo com o manejo realizado pelo produtor. As amostras foram acondicionadas em recipientes vedados, com a umidade obtida pelo método do microondas (SOUZA et al., 2002).



As análises do solo (densidade e retenção de água no solo) foram realizadas no Laboratório de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo localizado no Município de Alegre-ES (Figura 13).



**Figura 13** - Detalhe das análises físico-hídricas dos solos dos projetos e da determinação da umidade atual pelo método do microondas.

A profundidade do sistema radicular do cultivo para determinação da lâmina real de irrigação necessária foi definida a partir de valores citados na literatura e observações de campo, sendo utilizado nas culturas de café em produção o valor de 40 cm, considerando que 80% das raízes se concentram nessa profundidade.

De posse dos resultados das análises físicas e hídricas do solo da área irrigada dos projetos em estudo, foi calculada a lâmina de irrigação real necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, determinada pela eq. 16:

$$IRN_{loc} = \frac{(C_c - U_a)}{10} D_s Z \left( \frac{PAM}{100} \right) \quad (\text{eq. 16})$$

$$PAM = \frac{AM_e}{AT} \quad (\text{eq. 17})$$

em que:

$IRN_{loc}$  = irrigação real necessária, mm;

$C_c$  = teor de umidade do solo na capacidade de campo, % em peso;

Ua = umidade atual do solo, % em peso;

Ds = densidade do solo, g cm<sup>-3</sup>;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm;

PAM = porcentagem de área molhada, %;

AMe = área molhada pelo emissor, m<sup>2</sup>;

AT = área total da planta, m<sup>2</sup>.

Em seguida, determinou-se a lâmina aplicada durante a irrigação por meio da seguinte equação:

$$L_{apl} = \frac{Q_e T}{A} \quad (\text{eq. 18})$$

em que:

L<sub>apl</sub> = lâmina aplicada média, mm;

Q<sub>e</sub> = vazão média do emissor, L h<sup>-1</sup>;

T = tempo, h;

A = área representada por emissor, m<sup>2</sup>.

Determinou-se também: a lâmina média coletada (mm), que é a média aritmética das lâminas coletadas no teste de uniformidade realizado no campo; a lâmina armazenada na zona radicular (mm), que é a parcela da lâmina aplicada que fica retida na zona radicular; a lâmina deficitária média (mm) que é a média da diferença entre lâmina armazenada na zona radicular; e a IRN<sub>loc</sub>. Posteriormente, calculou-se a lâmina percolada média (mm), ou seja, a média do excesso da lâmina aplicada em relação à IRN<sub>loc</sub>.

Após a determinação dos coeficientes de uniformidade e das lâminas, realizou-se a avaliação do desempenho dos sistemas de irrigação localizada por meio da determinação dos parâmetros técnicos: porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), coeficiente de déficit (Cd), perdas por percolação (Pper), eficiência de distribuição de projeto para área adequadamente irrigada (Ed<sub>80</sub>) e eficiência de aplicação (Ea), de acordo com Burt et al. (1997).

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores relativos aos parâmetros físico-hídricos dos solos nos sistemas avaliados são apresentados na Tabela 18. Observa-se que os valores da capacidade de campo (Cc) na tensão de 10 kPa variam de 15,41% a 22,27% na profundidade de 0 a 20 cm e de 17,68% a 29,35% na profundidade de 20 a 40 cm. Os valores no ponto de murcha permanente (PMP), tensão de 1500 kPa, variam de 6,80% a 13,75% na profundidade de 0 a 20 cm e de 7,15% a 19,09% na profundidade de 20 a 40 cm. Os valores de densidade do solo (Ds) variam de 1,00 a 1,19%.

Os valores da disponibilidade total de água (DTA) variam entre 0,75 a 1,18 mm cm<sup>-1</sup>, característicos dos solos de textura arenosa e franco arenosa, segundo Bernardo et al. (2006).

**Tabela 18** - Valores de umidade do solo na capacidade de campo (Cc), umidade no ponto de murcha permanente (PMP), umidade atual da água do solo (Ua), densidade do solo (Ds) e disponibilidade total de água (DTA) nos projetos avaliados

Projeto	Camada	Cc	PMP	Ua	Ds	DTA
	(cm)	----- % peso -----	-----		(g cm <sup>-3</sup> )	(mm cm <sup>-1</sup> )
1	0-20	19,07	10,53	13,64	1,06	0,91
	20-40	20,52	13,17	18,00	1,02	0,75
2	0-20	19,54	11,19	14,61	1,07	0,89
	20-40	21,80	12,10	18,18	1,07	1,04
3	0-20	17,63	11,18	17,73	1,11	0,72
	20-40	20,33	12,66	23,80	1,05	0,81
4	0-20	15,41	6,80	11,21	1,19	1,02
	20-40	17,68	7,15	11,54	1,12	1,18
5	0-20	22,27	13,75	12,62	1,04	0,89
	20-40	29,35	19,09	18,00	1,00	1,03

Os valores médios da Cc (tensão de 10 kPa) são de 18,78% na profundidade de 0 a 20 cm e 21,94% na profundidade de 20 a 40 cm. Os valores médios do PMP (1500 kPa) são de 10,69% na profundidade de 0-20 cm e 12,83% na profundidade de 20-40 cm.

Observa-se que o solo do projeto 5 apresenta os maiores valores de Cc (22,27% e 29,35%) e PMP (13,75% e 19,09%). O solo do projeto 4 apresenta os menores valores de Cc (15,41% e 17,68%) e PMP (6,80% e 7,15%).

Quanto à Ds, verifica-se que o solo do projeto 4 apresenta os maiores valores de Ds (1,19 e 1,12 g cm<sup>-3</sup>). O solo do projeto 5 apresenta os menores valores de Ds (1,04 e 1,00 g cm<sup>-3</sup>).

Na tabela 19 estão apresentados os resultados referentes aos parâmetros de avaliação de manejo da irrigação, para os projetos de irrigação localizada.

**Tabela 19** – Resultados dos parâmetros de avaliação do manejo de irrigação para os projetos de irrigação localizada: profundidade efetiva do sistema radicular (Z), porcentagem de área molhada (Pam), capacidade total de armazenamento de água (CTA), capacidade real de armazenamento de água (CRA), irrigação real necessária (IRN<sub>loc</sub>) e déficit de água do solo (Def)

Projeto	Z (cm)	Pam (%)	CTA (mm)	CRA (mm)	IRN <sub>loc</sub> (mm)	Def (%)
1	40	25,0	8,3	4,2	4,2	50,6
2	40	23,8	9,2	4,6	4,4	47,8
3	40	28,8	8,8	4,4	0,0	0,0
4	40	17,8	7,8	3,9	6,3	80,7
5	40	18,0	6,9	3,5	7,7	111,6

Observa-se que no projeto 3, a irrigação foi realizada quando a umidade do solo estava igual à capacidade de campo, indicando que toda lâmina aplicada foi perdida por percolação profunda. Em 40% dos projetos (projetos 1 e 2), as irrigações foram realizadas dentro dos limites aceitáveis para o déficit de água no solo. Verifica-se que 40% dos projetos avaliados as irrigações foram iniciadas com déficit de umidade do solo acima do limite recomendado de disponibilidade de água no solo, de 50%.

Os valores da Pam variam de 17,8% a 28,8%. Segundo Mantovani et al. (2009), em locais de clima úmido (sujeito a maiores precipitações), esse valor deve ser maior que 20%, e em regiões áridas e semi-áridas (menores precipitações), superior a 33%.

Nota-se, na tabela 19, que o projeto 5 apresenta Def acima de 100%, ou seja, a umidade atual estava abaixo do PMP. Apesar das plantas não estarem “mortas”, pode-se constatar danos significativos provocados pela falta de água à cultura, como morte parcial do sistema radicular, perda na produção e na qualidade do produto.

Os valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente de Uniformidade de Emissão (CUE) e as respectivas classificações dos valores dos coeficientes de uniformidade dos sistemas de irrigação localizada são apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20** - Valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Emissão (CUE) e classificações dos coeficientes, dos projetos de irrigação localizada de acordo com Mantovani (2001)

Projeto	CUC		CUE	
	(%)	Classificação	(%)	Classificação
1- Gotejamento	92,39	Excelente	90,54	Excelente
2- <i>Microspray</i>	64,05	Ruim	55,26	Razoável
3- <i>Microspray</i>	89,82	Bom	86,66	Excelente
4- <i>Microspray</i>	76,33	Razoável	67,81	Razoável
5- <i>Microspray</i>	90,61	Excelente	86,74	Excelente

Na tabela 20, verifica-se que o valor médio do CUC foi de 82,64%, variando de 64,05 a 92,39%.

Observa-se que, dos cinco sistemas avaliados, dois deles (1 e 5), ou seja, 40%, apresentam valores de CUC acima de 90%, recomendado para culturas com alto valor comercial (BERNARDO et al., 2005). Um projeto apresenta valor de CUC entre 80 e 90%, um entre 70 e 80% e um entre 60 e 70%, podendo ser classificados como bom, razoável e ruim, respectivamente.

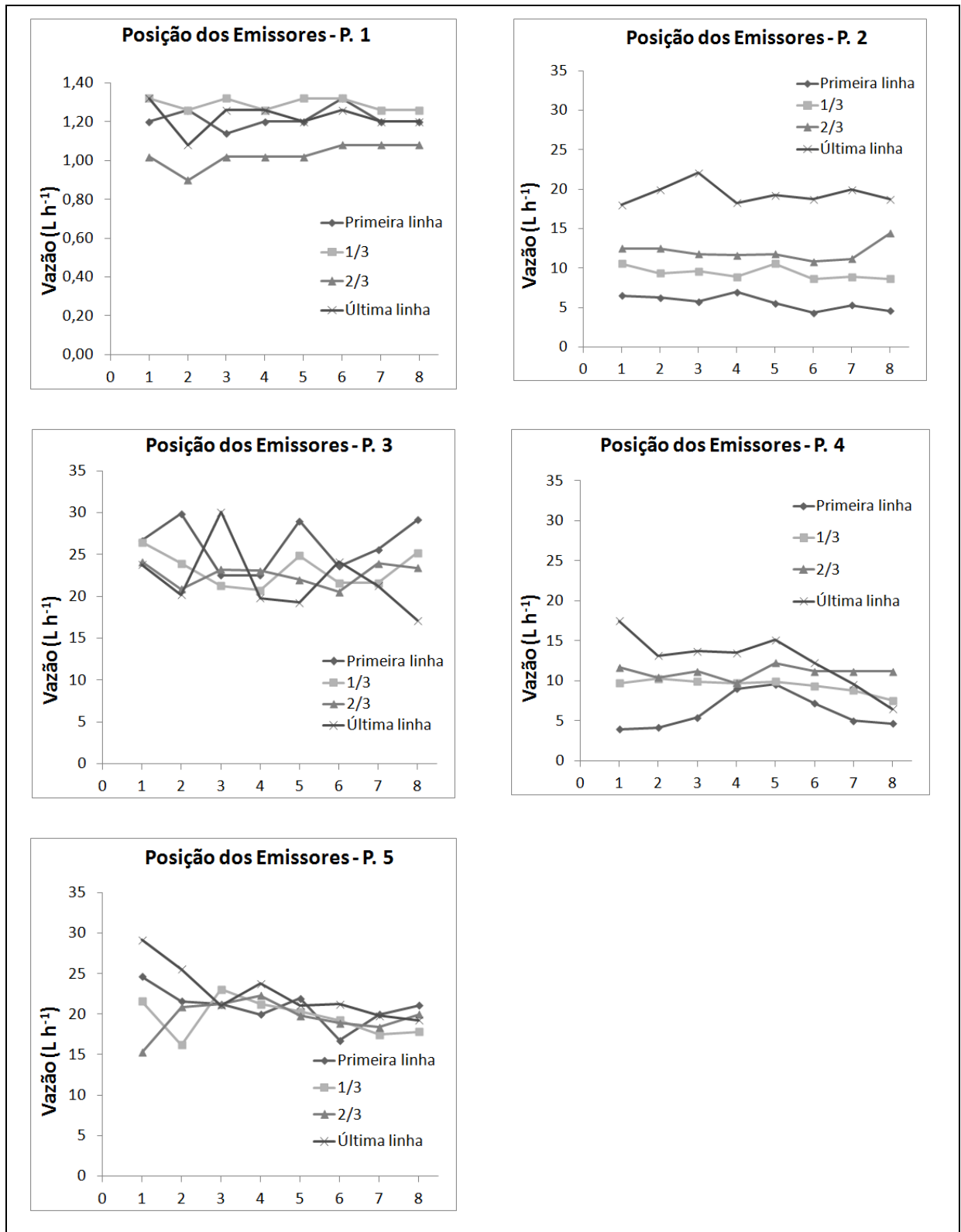
Com relação ao Coeficiente de Uniformidade de Emissão (CUE), que leva em consideração os 25% do total das observações com menores vazões em relação à vazão média aplicada, verifica-se, pela tabela 20, que três sistemas (sistemas 1, 3 e 5) apresentam valores classificados como excelentes (acima de 84%) e dois

(sistemas 2 e 4) apresentam valores razoáveis (entre 54 e 68%), de acordo com classificação apresentada por Mantovani (2001).

Os resultados encontrados são inferiores aos de Souza (2000), que avaliou 31 sistemas de irrigação localizados, sendo 15 no Cerrado de Minas Gerais e 16 no norte do Espírito Santo. Verificou-se, entre os valores de CUE determinados, que apenas um sistema, apresenta valor abaixo de 68%, refletindo uma uniformidade ruim. Nos outros sistemas, 11 apresentam valores de uniformidade de distribuição entre 68 e 84%, 19 valores acima de 84%.

Os valores baixos de uniformidade de aplicação de água dos projetos 2 e 4, foram devidos principalmente ao mau dimensionamento dos sistemas, com baixa pressão de serviço, verificada durante a avaliação. Parte dos sistemas estava funcionando com pressão de 10 kPa, quando o mínimo recomendado pelo fabricante deveria ser de 100 kPa. Em todos os projetos também foram constatados problemas com obstrução dos emissores. Nos sistemas 4 e 5 estavam funcionando sem o filtro de disco.

As distribuições de vazão de água de acordo com a posição dos emissores do gotejamento (projeto 1) e *microspray* (projetos 2, 3, 4 e 5) em cada linha lateral estão apresentadas na Figura 14.



**Figura 14** - Distribuição da vazão de água dos emissores nos projetos de irrigação localizada de acordo com a posição dos emissores na linha lateral.

Na Figura 14, verifica-se a vazão dos emissores bem próxima em todas as linhas no projeto 1, indicando a boa uniformidade do sistema de irrigação de gotejamento instalado. O projeto 2 apresentou a maior variação de vazão entre os emissores, em consequência da variação de pressão nas linhas, mesmo possuindo válvulas de controle de pressão, foram projetadas ou instaladas de forma inadequada, apresentando altura manométrica insuficiente. O projeto 4 também apresenta variação de vazão entre as linhas, em decorrência do projeto não considerar a diferença de nível do terreno, sendo visíveis os danos à cultura do café pelo déficit hídrico do solo. Também pode-se observar a irregularidade da vazão entre os emissores na mesma linha em todos os projetos, pela obstrução parcial e limitações na fabricação dos emissores.

A uniformidade de distribuição desses sistemas pode ser melhorada por algumas correções nas tubulações e equipamentos e por meio de práticas de operação do equipamento mais criteriosas, como melhoria no sistema de filtragem, limpeza ou substituição dos gotejadores entupidos e limpeza das linhas laterais.

Na Tabela 21, estão apresentados os valores de irrigação real necessária ( $IRN_{loc}$ ), lâmina aplicada ( $L_{apl}$ ), excesso de água aplicada, lâmina média coletada durante a realização do teste de uniformidade de distribuição de água em campo ( $L_{mcol}$ ), lâmina armazenada na zona radicular ( $L_{arm}$ ), lâmina deficitária ( $L_{def}$ ) e lâmina percolada ( $L_{per}$ ) em projetos irrigação localizada.

**Tabela 21** - Irrigação real necessária ( $IRN_{loc}$ ), lâmina aplicada ( $L_{apl}$ ), lâmina média coletada ( $L_{mcol}$ ), lâmina armazenada na zona radicular ( $L_{arm}$ ), lâmina deficitária ( $L_{def}$ ) e lâmina percolada ( $L_{per}$ )

Projeto	$IRN_{loc}$	$L_{apl}$	$L_{mcol}$	$L_{arm}$	$L_{def}$	$L_{per}$
	----- mm -----					
1 - Gotejamento	4,17	6,80	6,80	4,17	0,00	2,64
2 - <i>Microspray</i>	4,40	20,71	20,71	4,40	0,00	16,31
3 - <i>Microspray</i>	0,00	9,40	9,40	0,00	0,00	9,40
4 - <i>Microspray</i>	9,30	26,13	26,13	9,30	0,00	16,83
5 - <i>Microspray</i>	7,70	27,60	27,60	7,70	0,00	19,90



Os valores da  $IRN_{loc}$  variam de 0 a 9,30 mm nos projetos avaliados. A  $IRN_{loc}$  é de 0 mm no projeto 3, onde a  $U_a$  estava mais próxima da  $C_c$ , não indicando necessidade de aplicação de água neste momento. Neste projeto, o turno de rega era fixo (5 dias), com lâmina aplicada de 9,40 mm.

Pode-se observar que, em todos os projetos de irrigação localizada em estudo, a lâmina de irrigação aplicada ( $L_{apl}$ ) é maior que a irrigação real necessária ( $IRN_{loc}$ ), indicando que todos os projetos aplicavam água em excesso, com altas perdas de água por percolação.

A lâmina média coletada ( $L_{m_{col}}$ ) durante o teste de uniformidade de aplicação varia de 6,80 a 27,60 mm nos projetos avaliados. O projeto 5 apresenta o maior valor e o projeto 1 o menor valor.

A lâmina armazenada na zona radicular ( $L_{arm}$ ) é igual à  $IRN_{loc}$  em todos os projetos. Verifica-se que a  $L_{arm}$  nos projetos 1, 4, 5, 2 e 3 correspondem a 61,32%, 35,59%, 27,90%, 21,25% e 0,00% da lâmina aplicada ( $L_{apl}$ ), respectivamente. Portanto, o manejo dos sistemas não foi adequado, com irrigações excessivas em todos os projetos.

Os valores da lâmina deficitária ( $L_{def}$ ) é igual a 0 mm em todos os projetos. Valores semelhantes aos obtidos por Bonomo (1999), em sistemas de irrigação localizada.

O maior valor da lâmina percolada ( $L_{per}$ ) encontra-se nos projeto 5 (19,90 mm), seguido dos projetos 4, 2, 3 e 1 (16,83 mm, 16,31 mm, 9,49 mm e 2,62 mm). A excessiva perda por percolação no projeto 5, sendo a lâmina percolada 2,5 vezes superior à lâmina armazenada, foi em decorrência de um tempo excessivo de irrigação.

Na Tabela 22, estão apresentados os valores da porcentagem de área adequadamente irrigada ( $P_{ad}$ ), coeficiente de déficit ( $C_d$ ), perdas por percolação ( $P_{per}$ ), eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada ( $ED_{80}$ ) e eficiência de aplicação ( $E_a$ ), referentes ao desempenho atual dos sistemas de irrigação localizada avaliados.

**Tabela 22** - Porcentagem de área adequadamente irrigada ( $P_{ad}$ ); coeficiente de déficit ( $C_d$ ); perdas por percolação ( $P_{per}$ ); eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada ( $ED_{80}$ ) e eficiência de aplicação ( $E_a$ )

Projeto	Pad	Cd	$P_{per}$	$Ed_{80}$	$E_a$
	----- % -----				
1 - Gotejamento	100,00	0,00	38,82	92,39	42,32
2 - <i>Microspray</i>	100,00	0,00	78,75	61,91	12,13
3 - <i>Microspray</i>	100,00	0,00	100,00	89,73	0,00
4 - <i>Microspray</i>	100,00	0,00	64,40	75,33	17,92
5 - <i>Microspray</i>	100,00	0,00	72,10	90,61	13,09

Verifica-se que todos os projetos apresentam os valores de porcentagem de área adequadamente irrigada ( $P_{ad}$ ) de 100% (Tabela 22). Indica que 100% de todas as áreas dos projetos de irrigação receberam uma quantidade de água igual ou maior que a  $IRN_{loc}$ , apresentando um coeficiente de déficit nulo.

O projeto 3 apresenta as maiores perdas por percolação (100%), em razão da irrigação ter sido iniciada com a umidade acima da capacidade de campo, levando a uma perda total da lâmina aplicada por percolação profunda. Os projetos 2, 5, 4 e 1 apresentam perdas por percolação de 78,75%, 72,10%, 64,40% e 38,82%, respectivamente. Portanto, podemos afirmar que 80% dos projetos avaliados apresentam valores de perdas por percolação profunda superiores a 60%.

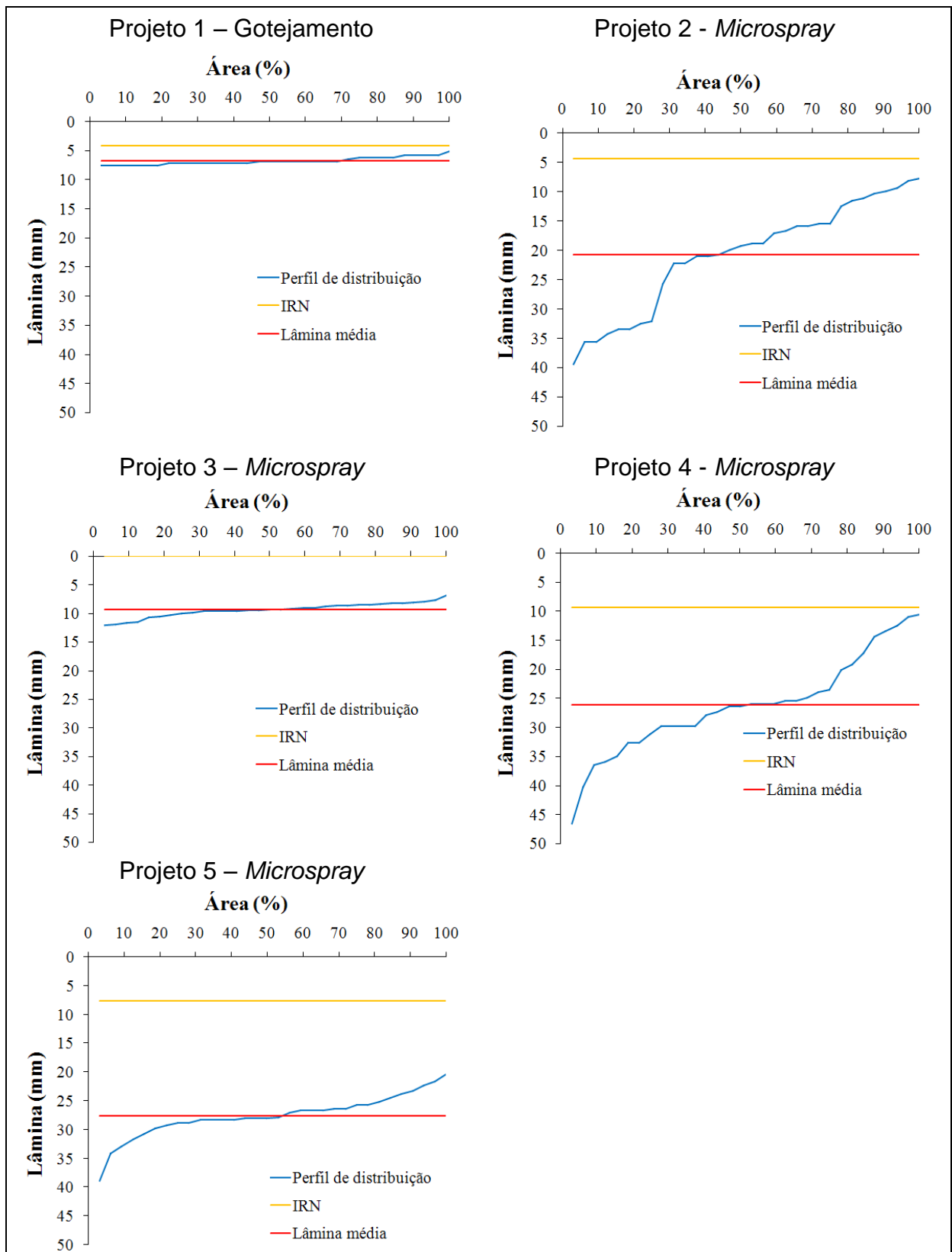
Quanto à eficiência de distribuição para 80% da área adequadamente irrigada ( $Ed_{80}$ ), verifica-se que o projeto 1 apresenta o maior valor (92,39%), seguido dos projetos 5, 3, 4 e 2 (90,61%, 89,73%, 75,33%, e 61,91%, respectivamente).

No que se refere à eficiência de aplicação de água ( $E_a$ ), o projeto 1 apresenta o maior valor (42,32%) seguido dos projetos 4, 5, 2 e 3 (17,92%, 13,09%, 12,13% e 0,00%, respectivamente).

Na Figura 15, observa-se os resultados obtidos nas avaliações dos projetos, indicando que os sistemas de irrigação localizada apresentam falhas na determinação nas lâminas ou aplicadas de modo desuniforme no terreno, aumentando as perdas de água por percolação.

O mau dimensionamento dos projetos, somados ao inadequado manejo da irrigação, tem levado a um grande desperdício de água, energia e fertilizantes do solo nos

sistemas localizados, que normalmente são associados à economia de água. Por isso, é fundamental a adequação dos diversos fatores para proporcionar uma irrigação eficiente na utilização da água, com maior produtividade da cultura e na conservação do meio ambiente, o que vem se apresentando como um dos grandes desafios da agricultura irrigada.



**Figura 15** - Lâmina média aplicada ( $L_m$ ), perfil de distribuição de água pelos emissores e irrigação real necessária ao desenvolvimento da cultura ( $IRN_{loc}$ ) em ordem decrescente em relação à área (%) irrigada dos projetos avaliados.

### 3.5 CONCLUSÕES

- Em 60% dos sistemas de irrigação localizada avaliados apresentam o CUC inferior ao recomendado de 90%.
- Em todos os projetos a lâmina aplicada no período avaliado é superior à irrigação real necessária à cultura.
- Em 40% dos projetos avaliados, as irrigações foram iniciadas com déficit de água no solo acima do limite recomendado de disponibilidade de 50%.
- A porcentagem de área adequadamente irrigada é de 100% em todos os projetos avaliados.
- Em 80% dos projetos avaliados os valores de perdas por percolação profunda são superiores a 60%.

### 3.6 REFERÊNCIAS

- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 4. Ed. Viçosa: UFV, 1987. 488 p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ª ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995, 657 p.
- BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1999. 224p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UFV, 1999.
- BURT, C.M.; CLEMMESNS, A.J.; STRELKOFF, T.S.; SOLOMON, K.H.; BLIESNER, R.D.; HARDY, L.A.; HOWELL, T.A. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n. 6, p. 423-442, 1997.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124p.
- DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, v.27, n.50, p.155-162, 1980.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS, 1997. 212p.
- HEERMANN, D. F., WALLENDER, W. W., BOS, M. G. Irrigation efficiency and uniformity. In: HOFFMAN, G. J., HOWELL, T. A., SOLOMON, K. H. **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1992. 1040p.
- ITABORAHY, C. R.; COUTO, L.; SANTOS, D. G. dos; PRETO, L. A.; REZENDE, L.S. **Agricultura irrigada e o uso racional da água**. Brasília: Agência Nacional das Águas, Superintendência de Conservação de Água e Solo, 2004. 30 p.
- KELLER, J., BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133p.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA**: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV. 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3. ed., atual. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355p.

MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 24, n. 4, p. 77-80, 1981.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF)**: goteo, microaspersión, exudación. Ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990. 471p.

RIBEIRO, T. A. P.; AIROLDI, R.P.S.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Variação temporal da qualidade da água no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 450-456, 2005.

SANTOS, R. A. Universidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras (*Bactris gasipaes* H.B.k.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2003. CD-ROM.

SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A.; RASSINI, J. B. **Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de microondas doméstico**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 9 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 33).

SOUZA, L. O. C. *Análise técnica de sistemas de irrigação por gotejamento utilizados na cafeicultura irrigada*. Viçosa, MG: UFV, 2000. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VIEIRA, G.H. S.; MANTOVANI, E. C.; CORDEIRO, E. DE A. Estudo comparativo da avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento utilizando os métodos propostos por Keller e por Denícúli. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM

CAFEICULTURA IRRIGADA, 6.M 2003, Araguari. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2003. P. 125-128.

WU, I. P., GITLIN, H. M. Drip irrigation application efficiency and schedules. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.1, p.92-99, 1983.